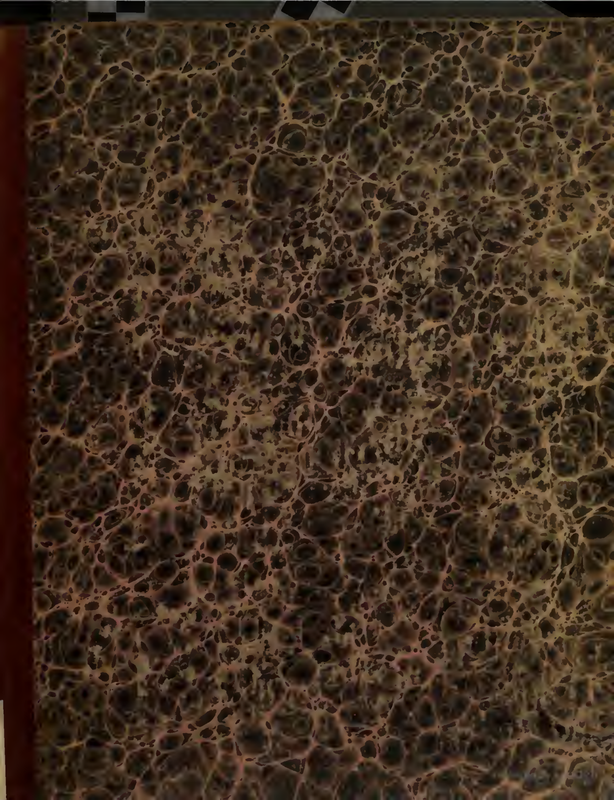




PROVINCIA

PROGRAMME

OU

RÉSUMÉ DES LEÇONS

D'UN

COURS DE CONSTRUCTIONS.

PARIS. — IMPRIMERIE DE FAIN ET THUNOT,
Rue Racine, n° 28, près de l'Odéon.

PROGRAMME

OU

RÉSUMÉ DES LEÇONS

D'UN

COURS DE CONSTRUCTIONS,

AVEC DES APPLICATIONS TIRÉES SPÉCIALEMENT

DE L'ART DE L'INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES,

OUVRAGE

DE FEU M.-J. SGANZIN,

Inspecteur général des ponts et chaussées et des travaux maritimes des ports militaires, ancien professeur à l'École polytechnique, commandeur de la Légion-d'Honneur, chevalier de l'ordre royal de Saint-Michel

QUATRIÈME ÉDITION,

ENRICHIE D'UN ATLAS VOLUMINEUX, ENTIÈREMENT REFONDUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE AVEC LES NOTES ET PAPIERS DE L'AUTEUR, AVEC CEUX DE M. DE LAMBLARDIE FILS, INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES TRAVAUX MARITIMES, ET AVEC DIVERS AUTRES DOCUMENTS

PAR M. REIBELL,

Ingénieur en chef de première classe des ponts et chaussées, directeur des travaux maritimes, officier de la Légion-d'Honneur, *agissant comme mandataire de la famille de feu M. Sganzin.*

TOME DEUXIÈME.

PARIS.

CARILIAN-GOEURY ET Vve DALMONT, ÉDITEURS,

LIBRAIRES DES CORPS ROYAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, nos 39 et 41.

1840.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES

DANS LE DEUXIÈME VOLUME.

QUATRIEME PARTIE.

NAVIGATION INTÉRIEURE SUR LES FLEUVES ET RIVIÈRES, NAVIGATION ARTIFICIELLE, IRRIGATIONS, DÉRIVATIONS, DESSÈCHEMENTS, AQUEDUCS, ÉGOUTS, PUITS ARTÉSIENS ET ABSORBANTS.

CINQUIÈME ET DERNIÈRE PARTIE.

DES OUVRAGES RELATIFS A LA NAVIGATION MARITIME EXTÉRIEURE.

APPENDICES.

PROGRAMME

OU

RÉSUMÉ DES LEÇONS

D'UN

COURS DE CONSTRUCTIONS.

QUATRIÈME PARTIE.

NAVIGATION INTÉRIEURE SUR LES FLEUVES ET RIVIÈRES, NAVIGATION ARTIFICIELLE, IRRIGATIONS, DÉRIVATIONS, DESSÉCHEMENTS, AQUEDUCS, ÉGOUTS, PUITS ARTÉSIENS ET ABSORBANTS.

RÉSUMÉ DE LA VINGT-QUATRIÈME LEÇON.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES COURS D'EAU. — SUR LES TRANSPORTS PAR EAU. — RIVIÈRES NAVIGABLES NATURELLEMENT. — OUVRAGES DÉPENDANTS.

Les fleuves et rivières sont des *canaux naturels* à section, pente et vitesse variables, et à volumes d'eaux *vives* et mobiles. Ces divers éléments varient entre des limites plus ou moins distantes. Les cours d'eau sont de plus des *appareils moteurs*, non-seulement dans leur application aux diverses usines, mais aussi à la navigation descendante.

« La formation du lit des rivières et des vallées est due à la même » cause, ainsi que l'a dit M. Lamblardie père, dans le premier ca-

» hier du *Journal de l'école Polytechnique*, les vallées ont été plus pro-
» fondes qu'elles ne le sont. On observe que leur sol se relève constamment.
» Leur creusement n'est donc pas un effet lent et successif des eaux telles
» qu'elles coulent actuellement, mais plutôt celui de l'action des eaux qui
» ont *primitivement* sillonné la surface du globe. Les vallées princi-
» pales qui portent les eaux ont été formées les premières; c'est dans le
» courant auquel elles ont servi de lit qu'ont afflué les courants des vallées
» secondaires, et ainsi de suite, en remontant jusqu'au point de partage
» et de faîte où la partie la plus élevée des montagnes circonscrit les bassins.
» Ces bassins se divisent en primitifs, secondaires et tertiaires. »

Considérations générales sur les fleuves et rivières.

On peut voir dans le mémoire remarquable déjà cité, de MM. Brisson et Dupuis de Torcy, et dans les mémoires subséquents de M. Denaix, Ingénieur-géographe, les lois générales qui lient les divers reliefs du globe aux cours naturels des eaux.

Les fleuves et rivières, considérés chacun dans l'étendue de son cours depuis la source jusqu'au confluent avec d'autres fleuves ou rivières ou jusqu'à la mer, présentent : en plan, une section d'eau qui s'élargit avec plus ou moins de régularité; et en coupe longitudinale, sauf des anomalies, des courbes concaves pour le fond du lit et la surface de l'eau, bien que ces courbes correspondantes ne soient pas toujours concentriques ou parallèles entre elles. Le développement suivant le profil longitudinal, excède donc, dans un rapport très-considérable, la distance horizontale rectiligne entre les points extrêmes.

Figures 319 des planches.

Le tableau suivant présente les pentes moyennes de quelques-uns des principaux cours d'eau de la France. Il est suivi d'un tableau publié par M. l'Ingénieur Defontaine, dans son beau travail sur les eaux du Rhin, inséré aux *Annales des ponts et chaussées* de 1833; ce document pourra servir de modèle pour la statistique des autres cours d'eau.

Tableau des pentes de quelques cours d'eau de France.

INDICATION des cours d'eau.	POINTS EXTRÊMES des distances auxquelles se rapportent les pentes.	PENTES.		
		Longueurs totales.	Pentes totales.	Pentes par kilomèt.
		m.	m.	m.
Garonne.	A l'aval de Toulouse jusqu'à la limite du département de Haute-Garonne	30,523	29,90	0,851
	De cette limite au confluent du Tarn	51,517	37,67	0,728
	De ce confluent à la limite du département de Tarn-et-Garonne	28,900	15,30	0,529
	De cette limite à Agen	20,119	8,33	0,414
	D'Agen au confluent du Lot	33,374	13,31	0,399
	De ce confluent à la limite de Lot-et-Garonne	51,527	14,10	0,274
	De cette limite à Langon	25,401	5,77	0,227
	De Langon à Bordeaux	45,109	5,21	0,11
		m.	m.	m.
	Totaux	286,470	125,65	0,442
Dordogne	En amont du confluent de la Vézère	29,540	28,70	0,972
Rhône	De Lyon à Beaucaire	265,000	150,80	0,560
Grande-Saône.	Grande-Saône de Verdun à Lyon	166,000	11,620	0,07
	Petite-Saône de l'amont de Verdun à Gray	116,000	15,08	0,13
Seine	De l'embouchure du canal de Saint-Denis à son extrémité aval	30,000	56,23	0,87
	De Paris à Rouen	243,000	24,12	0,10
Loire	De Digoin à Nevers	103,010	59,30	0,57
	De Nevers à Tours	312,000	124,00	0,399
	De Tours à Nantes	220,000	70,00	0,318
Marne	De Saint-Dizier à Vitry	154,000	71,00	0,81
	De Vitry à Châlons			0,35
	De Châlons à Vitry			0,23
Aisne	Depuis l'embouchure du canal des Ardennes jusqu'à l'Oise	120,000	25,92	0,26
Meuse	Pente en aval de Sedan jusqu'à l'embouchure du canal des Ardennes	17,323	4,66	0,257
	De cette embouchure à celle de la Semoies	50,800	11,98	0,28
	De l'embouchure de la Semoies à la frontière belge	72,921	36,51	0,50
	NOTA. Ces chiffres présentent le fait caractéristique d'un accroissement de pente dans les zônes aval relativement aux zônes amont.			
Rhin	De Reichenau en Suisse à la frontière de France	420,000	941,71	2,242
	Le long du littoral français	222,460	145,00	0,655
	De là à la mer	700,540	40,00	0,057
		m.	m.	m.
	Totaux	1,343,000	1127,00	0,84

Pentes du Rhin entre Bâle et la limite de la France vers la Bavière.

LIEUX D'OBSERVATIONS entre BALE ET SELSOURG.	LONGUEURS développées du thalweg. Partielles.	LONGUEURS développées du thalweg. Totales.	RELATIONS des zéros des Rhinomètres.	COTES des plus basses eaux.	COTES des eaux moyennes.	COTES des plus hautes eaux.	Différences entre les hautes et basses eaux	PENTES des plus basses eaux. Pentes partielles.	PENTES des plus basses eaux. Pentes totales.	PENTES des eaux moyennes. Pentes partielles.	PENTES des eaux moyennes. Pentes totales.	PENTES des plus hautes eaux. Pentes partielles.	PENTES des plus hautes eaux. Pentes totales.	PENTES PAR MÈTRE, aux plus basses eaux. Pentes partielles.	PENTES PAR MÈTRE, aux plus basses eaux. Pentes moyennes.	PENTES PAR MÈTRE, aux eaux moyennes. Pentes partielles.	PENTES PAR MÈTRE, aux eaux moyennes. Pentes moyennes.	PENTES PAR MÈTRE, aux plus hautes eaux. Pentes partielles.	PENTES PAR MÈTRE, aux plus hautes eaux. Pentes moyennes.
Jambage de la porte de ville du Petit-Bâle (rive droite), où se trouvent gravés les repères des différentes crues du fleuve.	m. •		m. •	m. 38.183	m. 35.927	m. 31.550	m. 6.798												
Rhénomètre du pont de Bâle (culée gauche). . .	400	m. 2,280	35.430	38.490	36,170	32.020	6.41	m. 10.147	m. 12.280	m. 0.243	m. 1.999	m. 0.470	m. 2.825	m. 0.000,387,500	m. 0.001,000,877	m. 0.000,607,500	m. 0.008,787,000	m. 0.001,175,000	m. 0.001,239,000
Limite de la frontière entre la France et le canton de Bâle	1,885		•	40.565	37.926	34.376	6.19	2.135		1.756		2.355		0.001,135,638		0.000,934,043		0.001,232,659	
Vis-à-vis l'écluse de prise d'eau du canal du Rhin au Rhône, à Huningue.	1,340		40.617	41.757	38.751	35.177	6.58	1.192		0.825		0.801		0.000,889,550		0.000,619,870		0.000,598,507	
Emplacement du pont de bateaux, vis-à-vis Huningue.	430		•	42.397	39.117	35.317	7.08	0.640		0.366		0.140		0.001,528,910		0.000,871,429		0.000,333,333	
Vis à vis Schalampé . . .	30,854		69.761	69.761	68.861	65.961	3.80	16.296		27.756		29.026		0.000,886,887		0.000,964,024		0.000,993,194	
Rhénomètre du Vieux-Brisach sur la rive droite.	30,356		98.067	98.067	96.617	91.987	6.07	27.965		29.744		30.844		0.000,926,040		0.000,908,364		0.000,851,747	
Rhénomètre de Sponeck après la limite des départements des Haut et Bas-Rhin	13,230		106.263	106.243	108 333	102.918	3.78	8.166		9.716		10.536		0.000,616,746		0.000,688,806		0.000,796,873	
Id. de Rhinau	28,910		127 796	128 416	126.706	125.016	3.40	22.173		21.373		21.493		0.000,777,727		0.000,749,067		0.000,788,951	
Id. du pont de Kehl (rive gauche).	37,030	222,460	151.270	151.070	149.490	147.040	4.03	22.854	140.667	22.784	143.935	22.226	142.230	0.000,913,530	0.000,841,284	0.000,611,681	0.000,647,015	0.000,596,616	0.000,639,351
Id. de Gambsheim, au Neugrund	17,100		160.174	159.664	155.944	155.704	3.86	6.391		6.454		8.564		0.000,490,877		0.000,494,386		0.000,500,819	
Id. d'Offendorf au canton dit Schwartzlachkopf. .	9,400		163.247	162.237	161.187	158.087	4.19	2.573		3.243		2.263		0.000,476,481		0.000,600,556		0.000,420,776	
Id. de Drusenheim au canton dit Schwang. . .	9.400		167.297	166.827	165.193	161.557	5.06	4.600		4.010		3.470		0.000,489,362		0.000,426,596		0.000,369,149	
Id. de Fort-Louis, vis-à-vis Sollingen	8,700		170.987	170.557	169 017	166.407	4.19	3.720		3.820		4.850		0.000,427,586		0.000,439,080		0.000,557,471	
Id. de Seltz au Rinnenfelden.	18,400		176.717	176.207	174.907	172.047	4.16	9.780		3.900		5.040		0.000,373,377		0.000,383,117		0.000,308,224	
Id. de Lauterbourg au canton dit Fahrkopf. . .	13.900		181.817	181.497	179.707	176.197	5.30	5.190		4.820		4.180		0.000,374,603		0.000,355,026		0.000,219,677	
Confluent de la Moder, limite de la frontière entre la France et la Bavière	5,400		•	183 224	181.861	177.608	5.82	1.729		2.124		1.408		0.000,320,000		0.000,395,185		0.000,260,741	
		224,710							144.940		145.934		146.055		0.000,844,932		0.000,649,343		0.000,649,884

RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES.

Rhénomètre de Bâle. — D'après les renseignements qui avaient été donnés, l'on a adopté pour les plus basses eaux de Bâle le zéro du Rhénomètre de la culée gauche du pont.

Rhénomètre du Vieux-Brisach. — L'échelle d'après laquelle on observe au Rhénomètre du Vieux-Brisach étant descendante et toutes celles de la rive gauche étant ascendantes, l'on a pris pour le zéro de l'échelle le point des plus basses eaux connues.

Hautes eaux de Bâle. — La cote des hautes eaux de Bâle, celle de la crue de l'année 1641, était de 61m,340
sera pour l'année 1801 de. 31m,545
1764 de 31m,784
1817 de. 31m,900
1826 de. 32m,060
1740 et 1756 de. 32m,094
1778 et 1791 de. 32m,424
1814 de 32m,578
1619 de. 32m,700

Hautes eaux à Mayence et à Neuss. — La différence entre les hautes et basses eaux du Rhin à Mayence, est de 6m,46; à Neuss, Prusse rhénane, cette différence est de 9m.25.

Lorsque les fleuves ou rivières aboutissent à une mer sujette aux marées, ou à un autre cours d'eau dont le niveau est variable, la partie inférieure de leur plan et de leur profil varie sans cesse. Cette variation est périodique dans le premier cas, suivant que les marées sont basses ou hautes, suivant qu'elles sont de morte-eau (quartiers de la lune), ou de vive-eau (pleines et nouvelles lunes), et enfin suivant qu'elles sont marées ordinaires ou marées d'équinoxes.

Indépendamment de *toute variation dans le volume des eaux*, leur vitesse dans le même fleuve aurait toujours été en augmentant, quoique à des degrés toujours moindres de l'amont à l'aval, si la viscosité des eaux et leurs frottements contre le fond et les parois, croissant en même temps que la vitesse et dans une proportion plus grande, n'eussent contrebalancé l'influence de la pente et amené l'uniformité de vitesse en chaque point.

La vitesse n'est pas la même, au reste, sur tous les points de la même section transversale; elle est la plus grande que possible dans le *thalweg*, qui est défini par cette circonstance. En dehors du thalweg il y a, surtout dans les élargissements brusques de section, des zônes d'eau stagnantes et même animées d'une vitesse en sens contraire de celle du courant principal de l'amont vers l'aval; ces courants se nomment, selon les localités, *remous*, *et contre-courants*. Une explication très-plausible en a été donnée par *Venturi* dans un Mémoire fort remarquable sur la *communication latérale du mouvement des eaux*.

Dans le thalweg, la vitesse n'est pas non plus la même au fond et à la surface de l'eau. Dans les rivières peu profondes, le maximum de vitesse paraît être à la surface. On prend ordinairement les $\frac{4}{5}$ de cette vitesse maximum pour la vitesse *moyenne des eaux coulant dans le même sens*.

On a déjà mentionné à l'article ponts en maçonnerie les règles théoriques auxquelles M. Navier était arrivé pour les rapports des vitesses moyennes et maximum dans le mouvement *linéaire* des eaux. Le tableau ci-dessous donne les vitesses de quelques cours d'eau :

	m.
Vitesse ordinaire, par seconde, des petites rivieres des environs de Paris, la pente etant 0m,00018 par mètre	0,28
Vitesse de la Seine entre Sorène et Neuilly, observée par M. de Chézy, la hauteur sur les basses eaux étant 1m,26 et la pente par mètre 0m,000125	0,78
Vitesse de la Seine dans l'intérieur de Paris, l'eau étant à 0m,6 sur l'étiage, et la pente par mètre 0,00055	1,00
Id., l'eau étant à 6 mètres sur l'étiage, et la pente 0m,0006 par mètre	1,90
Plus grande vitesse de la Tamise à Londres pendant le flux	0,90

		m
	Pendant le reflux	0,76
	Vitesse du Tibre, à Rome, dans les basses eaux	1,00
	Vitesse du Danube, à Ébersdorff, dans les basses eaux	1,05
	Dans les grandes eaux cette vitesse varie de $2^m,21$ à $3^m,79$.	
	Vitesse de la Loire, la pente étant $0^m,000382$ par mètre	1,30
	Vitesse du Rhône, à Arles, dans les basses eaux	1,46
	Vitesse du Rhône, à Beaucaire, à la même époque	2,60
	Vitesse ordinaire de la Durance, depuis Sisteron jusqu'à son embouchure, la hauteur des eaux sur l'étiage ne surpassant point 3 mètres	2,60
	Vitesse du Maragnon au détroit du Pongo, observée par M. de La Condamine	3,90
	Vitesse d'un torrent provenant d'une fonte de neige causée par l'éruption d'un volcan, observé en Amérique par Bouguer	7,80
	Vitesses du Rhin indiquées par M. Defontaine dans le mémoire sur les travaux de ce fleuve inséré aux *Annales des ponts et chaussées* de 1833.	
Dans les plus basses eaux	La plus grande vitesse est, par seconde, de	2,67
	Et en amont du Vieux-Brisack ; le volume d'eau étant alors 340 mètres cubes par seconde et la pente de $0^m,908$ par kilomètre.	
	Et la plus petite de	0,97
	A la limite du territoire bavarois ; le volume d'eau étant alors 465 mètres cubes par seconde, et la pente de $0^m,32$ par kilomètre.	
Dans les eaux moyennes	La plus grande vitesse est	2,87
	Au-dessus du Vieux-Brisack où le volume d'eau par seconde est alors de 885 mètres cubes et la pente de $0^m,749$ par kilomètre.	
	La plus petite vitesse est près de la frontière bavaroise	1,50
	Le volume d'eau étant alors par seconde de 1,106 mèt. cube, et la pente moyenne de $0^m,395$ par kilomètre.	
Dans les grandes eaux	La plus grande vitesse est de	4.16
	A Bâle, lorsque le volume d'eau s'élève à 4624 mèt. cubes par seconde, et la pente moyenne a $1^m,175$ par kilomètre.	
	La plus petite vitesse est d'environ	2,85
	Le volume d'eau par seconde étant alors de 5010 mèt. cubes, et la pente moyenne de $0^m,260$ par kilomètre.	

La variété des largeurs et profondeurs d'eau dans les diverses circonstances, empêche de trouver aucune relation générale, entre les vitesses, les pentes et les périmètres mouillés.

A mesure qu'on s'éloigne de la source, les cours d'eau rencontrent des affluents permanents dont le volume accroît le volume d'eau primitif, et de là une augmentation progressive dans la section.

Les nombreux circuits de la plupart des fleuves tiennent à la mobilité des eaux, qui se portent toujours vers les points où elles éprouvent le moins de résistance à leur marche. Des reliefs permanents dans le sol, la nature inégalement résistante de ce dernier, ont causé la plupart de ces déviations, qui amortissant aussi une partie de la vitesse, ont contribué à hâter l'uniformité du régime.

Etiage et crues des eaux.

Le volume des eaux de quelques rivières varie entre des limites très-distantes. Ainsi, dans des crues régulières causées par la fonte des neiges,

ou dans des crues irrégulières à la suite d'orages, le volume d'eau a été, pour certains fleuves, centuple de celui des eaux moyennes, et trois à quatre cents fois plus grand que celui des basses eaux. Les crues produisent à la fois augmentation de profondeur d'eau et de vitesse, et souvent de section, dans toutes les zônes où les *marées n'exercent pas une action prépondérante.*

Le niveau le plus bas ou l'*étiage*, et le niveau le plus élevé des crues, sont, dans chaque cours d'eau et pour chaque point de son cours, des circonstances importantes à observer. Entre ces deux niveaux les eaux oscillent continuellement.

On appelle lit *mineur* la section inférieure du débouché d'une rivière dans les eaux ordinaires; lit *majeur* la section supérieure à la précédente et qui n'est occupée par les eaux que dans leurs crues.

D'après des observations faites sur plusieurs rivières de l'intérieur de la France, l'étiage a lieu en juin, juillet, août et septembre; et les hautes eaux en novembre, décembre, janvier, février et mars. Cependant, suivant que les sources du fleuve et de ses affluents sont placées dans des montagnes couvertes de neiges perpétuelles ou passagères, suivant la sécheresse d'un hiver froid, il peut y avoir des étiages d'hiver et d'été, et un étiage d'hiver plus bas que celui d'été. Ainsi, sur le Rhin, il y a eu des crues extraordinaires en mars, juillet, août, novembre et décembre, et des eaux très-basses en janvier, février et octobre. (Voir les tableaux graphiques sur les mouvements des eaux du Rhin, par M. l'Ingénieur Defontaine, insérés dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1833.)

Les crues peuvent, à raison des mêmes circonstances, se produire en été et en hiver.

Dans les crues qui sont dues aux eaux pluviales, il est évident qu'il faut tenir compte de la quantité d'eau qui pénètre dans la terre déjà plus ou moins saturée d'eau, et qui n'arrive à la rivière que par intervalles variables après la *crue directe.*

D'ailleurs, à raison du plus ou moins de développement des affluents, leurs crues, quoique placées sous l'influence de la même cause, peuvent ne pas arriver simultanément au débouché commun. Ainsi des pluies simultanées peuvent donner lieu à des crues successives; et des pluies successives peuvent produire une seule crue instantanée.

Le courant est aussi quelquefois grossi par des sources artésiennes remarquées dans plusieurs rivières.

Enfin, la nature du sol riverain a aussi de l'influence sur la force des

crues : s'il est sablonneux, il recevra une grande nappe d'eau qui ne s'échappera que peu à peu dans les basses eaux; tandis que s'il est argileux, la rivière sera isolée des terrains environnants.

Le déboisement des montagnes a augmenté de beaucoup les variations brusques dans le cours des eaux; les produits de la fonte des neiges et des eaux pluviales glissent sans être arrêtés, comme autrefois, par les racines des arbres et par les végétations qui recouvraient les flancs des reliefs des terrains; elles arrivent ainsi presque instantanément et de toutes parts au fond des vallées. Ces eaux ne s'infiltrent plus dans le sol avec lenteur, n'alimentent plus les sources, et la plupart des rivières de France sont à sec pendant l'étiage, ou débordées après un orage, et n'ont plus *un régime permanent.* Mais les conséquences de cet état de choses apparaîtront encore plus graves si l'on considère les crues sous le rapport des terres dont elles se chargent, des corrosions qu'elles exercent sur les rives, des atterrissements qu'elles développent dans le lit des fleuves et rivières.

Action des eaux en mouvement sur diverses matières.

Dubuat en France et des ingénieurs anglais ont donné les indications numériques suivantes sur les vitesses des eaux en équilibre avec la ténacité et la pesanteur spécifique des diverses matières.

MATIÈRES qui résistent aux vitesses indiquées, et qui céderaient à des vitesses plus grandes.	VITESSE PAR SECONDE	
	selon Dubuat.	selon les ingénieurs anglais.
	m.	m.
Terre détrempée, boue	•	0,076
Argile brune de poterie	0,081	
Argile tendre	•	0,152
Gros sable jaune	0,217	
Sable ordinaire	•	0,305
Graviers de la Seine. gros comme un grain d'anis	0,108	
Graviers de la Seine. gros comme un pois	0,181	
Graviers de la Seine. gros comme une fève de marais	0,325	
Gravier en général	•	0,609
Galets de mer arrondis de 0m,027 de diamètre	0,65	
Cailloux	•	0,914
Silex anguleux du volume d'un œuf de poule	0,975	
Pierres cassées	•	1,22
Cailloux agglomérés, schiste tendre	•	1,52
Roches feuilletées	•	1,83
Roches dures	•	3,05

On voit que des vitesses très-faibles dans les eaux peuvent corroder des

Causes des atterissements et des corrosions des parois des rivières et fleuves.

rives terreuses. La destruction est favorisée par le clapotage de l'eau, les frottements des glaçons, les alternatives de sécheresse et d'humidité, etc., et surtout par les gelées. D'ailleurs les débris des berges, en tombant au fond, garantissent ce dernier, lequel est déjà protégé par des plantes aquatiques quand *la profondeur d'eau est toutefois au-dessous de 2 mètres.*

Lorsque les rivières gèlent, l'eau coule au-dessous de la surface comme dans un tuyau, et attaque le fond jusqu'à ce que la débâcle ait soulevé la croûte de glace.

Un obstacle isolé, naturel, ou artificiel opposé au cours des eaux tend à les grossir à l'amont, et à accélérer leur vitesse à l'aval; et si le fond est susceptible de céder à la nouvelle vitesse, il éprouve un affouillement.

Lorsqu'une rive est attaquée et cède, le coude commencé tend à s'agrandir de plus en plus; les bords deviennent plus abruptes; la profondeur d'eau augmente; et le courant dépose les matières enlevées sur la berge opposée, qui devient convexe en s'attérissant; les sinuosités qui en résultent s'avancent de l'amont vers l'aval.

M. l'Ingénieur Defontaine avait observé sur le Rhin, fleuve à fond de sable et de gravier, et sujet à des crues subites d'une grande violence, que les courbures dans lesquelles les rives n'étaient pas sensiblement affouillées avaient 2.500 mètres pour rayon; et que toute courbure *protégée par des ouvrages d'art*, et telle qu'il n'y eût aux plus grandes crues de 11 mètres de profondeur d'eau, ne devait avoir que 1,250 mètres de rayon, pour que *les ouvrages de défense ne fussent pas compromis.*

Tout enfoncement, toute saillie brusque sur les rives *ou sur le fond*, produit des tournoyements et remous attribués par Venturi à la communication latérale du mouvement; et, si le fond est susceptible d'être entraîné, il y a aussi affouillement sur certains points et attérissement sur d'autres. Ainsi, la rencontre de deux rivières de mêmes volume d'eau et vitesse, sous un angle presque droit, non-seulement produit un mouvement final oblique aux courants primitifs, *mais aussi des tournoyements.*

Figures 320 des planches

Un éperon insubmersible saillant sur une rive détermine également des tournoyements à l'amont et à l'aval, des affouillements à la pointe si le fond peut céder, et des attérissements dans l'angle aval de l'éperon avec la rive, et *quelquefois même à l'amont.* Les riverains de la plupart des fleuves connaissent fort bien ces effets; et par des plantations ou même de *simples objets flottants* qui ne semblaient avoir pour but que la défense de leurs propriétés, ont souvent porté l'action de l'eau sur les rives

opposées et déterminé abusivement des attérissements à leur profit.

Feu M. Lamblardie père, dans l'analyse déjà citée du Cours de constructions fait à l'école Polytechnique, assignait aussi les vents régnants comme une des causes d'attérissements et de l'élévation progressive du fond des fleuves aux dépens des reliefs des terrains des bassins riverains. Il en démontrait l'influence par cette circonstance que les fleuves sont en général plus profonds au pied des côtes les plus escarpées et les plus exposées aux vents régnants.

Si à toutes ces causes de perturbations dans le régime ordinaire des cours d'eau, on joint les crues régulières et irrégulières, on appréciera les difficultés des ouvrages destinés à maintenir ou améliorer la navigation d'une rivière.

En effet, les crues à raison de leurs vitesses, augmentent les corrosions commencées); l'on a vu sur le Rhin 20 mètres de profondeur de littoral enlevés dans un seul jour); par leur hauteur elles atteignent des terrains jusques-là intacts, et sont ainsi chargées du maximum de matières en suspension. Mais dès que leur intensité diminue *en masse*, ou que leur vitesse se ralentit momentanément par une cause accidentelle, les eaux déposent progressivement, et *dans l'ordre des pesanteurs spécifiques*, une partie de leurs troubles. Il s'établit donc de nouveaux rapports entre le débouché de la section, le volume des eaux, la vitesse, la pente, et le périmètre mouillé des parois. Dans les zônes aval, le fond se sera relevé, la section sera devenue moins capable de suffire à une crue subséquente; et, si les parois résistent moins que le fond, il en résultera un élargissement de la rivière en plusieurs bras, qui, dans la saison des eaux moyennes et basses, ne présenteront pourtant qu'une faible profondeur d'eau.

Dans les parties inférieures de fleuves débouchant à la mer, outre les causes d'attérissements qu'on vient d'indiquer, il en est de spéciales. Ainsi, suivant les vents régnants et l'agitation de la mer sur les côtes au-dehors, la mer pénètre dans les fleuves chargés de galets, de sable, de vase. Ces matières se déposent en même temps que les alluvions d'eau douce, lorsque les vitesses se ralentissent et deviennent nulles vers l'*étale* de marée haute. Au *jusant* ou mer descendante, les courants de la marée et de la rivière, agissant ensemble de l'amont à l'aval sur les dépôts, tantôt les enlèvent, tantôt sont déviés par eux et forcés de se frayer un nouveau lit. Ainsi les embouchures de la Loire, de la Seine, de la Ga-

ronne, du Rhin et du Rhône, celles du Pô et de l'Adige en Italie, présentent toutes des bancs mobiles entre lesquels le thalweg se dirige par de nombreuses sinuosités.

Les atterrissements qui relèvent ainsi le lit des fleuves à leurs confluents ou embouchures, relèvent par suite le niveau des eaux ordinaires et celui des crues, et forcent d'exhausser progressivement les digues.

Les digues du Pô dominent aujourd'hui de 12^m à 13^m les plaines environnantes, et ses alluvions s'avancent dans la mer de 70 mètres par an. Dans un avenir qui ne sera pas éloigné, il rompra ses digues et se frayera un nouveau chemin à la mer, où il subira ultérieurement les mêmes atterrissements. Pareilles causes produisent des effets analogues à l'embouchure des divers fleuves des État-Unis, et notamment au delta de l'embouchure du Mississipi.

Malgré la multitude des causes régulières ou irrégulières, qui tendent à modifier les lits des cours d'eau, l'on a remarqué dans la plupart, surtout ceux à fond de sable ou de gravier, que par exception *locale* à la loi générale de diminution des pentes et vitesses depuis leur source jusqu'à la mer, il y avait alternativement 1° des zônes ou biefs, appelées vulgairement *racles* et *mouilles*, présentant une vitesse peu considérable et une assez grande profondeur d'eau; 2° des hauts-fonds, gués, *barres* ou *maigres* nommés quelquefois *trémates* et placés le plus souvent vers les coudes des rivières, où la pente et la vitesse sont considérables, et correspondent à une très-faible profondeur d'eau. Ces hauts-fonds forment alors comme un *barrage submersible* qui relève le plan d'eau à l'amont.

Configuration *locale* du profil longitudinal du thalweg des fleuves et rivières.

Figures 321 des planches.

Ainsi, sur la Garonne, depuis Toulouse jusqu'au département de Tarn-et Garonne, sur 31,388 mètres de longueur, la pente moyenne est de $0^m,822$ par kilomètre, et dans un des hauts-fonds la pente a été trouvée de $0^m,057$ sur 10 mètres.

Sur la Loire, à l'étiage moyen, il n'y a presque qu'une mince tranche d'eau sur les barres; tandis que la profondeur est de 2 mètres dans les *mouilles*. Sur 29 lieues de longueur dans le département de Maine-et-Loire les *mouilles* forment ensemble 26 lieues, et les *barres* 3 lieues.

Sur la Seine supérieure, entre Nogent et Paris, sur une longueur de 102,804 mètres, il y a soixante-quatre hauts-fonds dont dix-huit n'ont que $0^m,50$ à $0^m,70$ d'eau, et quarante-six seulement $0^m,70$ à $0^m,90$ d'eau à l'étiage.

Sur la basse Seine, entre Rouen et Paris, la pente moyenne est de $0^m,10$ par kilomètre, mais elle est loin d'être uniformément répartie ; car

entre Elbeuf et Paris, la distance de 239.000 mèt. se compose de treize *racles* ayant ensemble 131,400 mètres de longueur et de treize maigres de 107,600 mètres de longueur. Les premiers présentent, presque sans aucune pente, une profondeur qui n'est presque jamais au-dessous de 2 mètres; tandis que les *trémates* qui absorbent presque toute la pente, ne présentent généralement que $1^m,0$ à 80 centimètres d'eau dans les mêmes circonstances.

Dans la Dordogne, en aval de l'embouchure de la Vezère, une pente moyenne de $0^m,97$ par kilomètre sur 29,540 mètres de longueur, quintuple de celle de la Seine, double de celle du Rhin, se répartit si inégalement, qu'elle est de 4,5 et jusqu'à 11 centimètres par kilomètre sur les hauts-fonds, et que la profondeur de l'eau varie de 4 mètres à $0^m,35$ dans les mêmes circonstances.

Dans l'Yonne il y a soixante-neuf hauts-fonds, sur une longueur totale de 119,870 mètres; la pente moyenne, de $0^m,42$ par kilomètre, devient sur ces points $1^m,24$ et même $1^m,42$ par kilomètre.

La Meuse, entre Sedan et la frontière de la Belgique, présente 73 gués dont la pente dépasse de beaucoup la pente moyenne de $0^m,35$ par kilomètre et qui ne conservent à l'étiage que $0^m,50$ à $0^m,60$ de profondeur.

Il en est de même de la Moselle, de la Saône, etc., etc.

Dans plusieurs rivières ces hauts-fonds sont des pointes de rocher qui ont déterminé des atterrissements.

Des rivières navigables et flottables.

Une rivière est dite *flottable* lorsque des trains de bois de chauffage ou de construction peuvent y trouver habituellement, *avec un débouché suffisant*, de l'eau pour la descente, soit par le cours régulier des eaux, soit en retenant celles-ci par des moyens d'art dans des biefs et en la laissant couler à époques périodiques, comme cela a lieu sur l'Yonne au-dessus d'Auxerre. Dans les basses eaux, on y lâche deux fois par semaine des retenues d'eau faites sur les affluents de la haute Yonne. La largeur minimum d'une rivière flottable est de 4 mètres; et sa profondeur minimum pour le flottage de $0^m,50$.

Une rivière est dite *navigable*, soit relativement à des bâtiments à la voile, soit relativement à des bateaux à la rame, ou halés. La navigation peut y être ascendante ou descendante; dans l'un et l'autre cas la rivière doit offrir une largeur et une profondeur d'eau suffisantes pour la circulation des

bateaux; mais de plus il y a une limite de vitesse au delà de laquelle il y aurait danger pour la descente, et dépense excessive pour la remonte.

La navigation à la *voile exclusivement* n'est guère praticable, à raison du peu de largeur et de profondeur des rivières, de leurs sinuosités et de l'encaissement de leurs vallées, que dans les parties inférieures de leur cours vers la mer, où les dénivellations de celle-ci se font sentir; par exemple, sur la Seine, entre le Havre et Rouen; sur la Loire, entre la mer et Nantes, sur la Garonne et la Dordogne, entre leur embouchure à la mer, et Bordeaux et Libourne. Plus haut, on ne profiterait que d'un très-petit nombre *d'aires de vent*, et l'on ne pourrait louvoyer ni *courir des bordées* comme en mer. Ce dernier mode est impraticable dès que le vent forme un angle de moins de 60 à 65 degrés avec la route du bateau.

La force du vent, *même favorable*, n'est guère employée habituellement à la remonte que sur des rivières dont la vitesse est au-dessous de 3 mètres par seconde, ce qui correspond à une pente d'environ $0^{m},30$ par kilomètre; lorsque la largeur minimum de la rivière est de 20 mètres, et très-grande relativement à la profondeur des eaux. Ces pentes et vitesses résultent en effet de la formule de M. de Prony $V = -0{,}07 + \sqrt{0{,}005 + 3233.\frac{lh}{l+2h}\,i}$: où V est la vitesse en mètres par seconde, i la pente par mètre, l la largeur de la rivière, et h sa profondeur; le mètre étant l'unité de mesure.

La limite supérieure de vitesse pour la descente et la remonte des bateaux par le halage était, soit par le raisonnement, soit par l'usage, fixée jusqu'à ce jour à la vitesse correspondante à 50 ou 60 centimètres de pente par kilomètre. Toutefois on navigue sur le Rhône avec $0^{m},70$ et $0^{m},80$ de pente par kilomètre en descendant, et une vitesse qui va quelquefois à 4 mètres, et qui est habituellement de 2 mètres. Il en est de même sur le Rhin, qu'on remonte d'ailleurs, ainsi que le Rhône, avec le secours de la voile. On cite la rivière de la Lys, en Belgique, qui est navigable sur 17 lieues avec une pente de 50 à 60 centimètres par kilomètre, parce que le fond est couvert d'herbes qu'il est défendu de couper, et que ces herbes font l'*effet d'un barrage submersible.*

Les bateaux les plus petits en usage dans le commerce ont $2^{m},00$ de largeur, et $0^{m},60$ de tirant *d'eau en charge.* Leur longueur qui, dans l'intérêt de l'économie de force motrice à la remonte, *doit être un maximum relativement à la largeur*, est limitée quelquefois à 8 mètres par

Tonnage et tirant d'eau des bateaux.

les sinuosités et largeurs des cours d'eau, et est portée souvent jusqu'à 24 mètres ou douze fois la largeur. Leur chargement minimum est de 7 à 8 tonneaux.

Mais comme il y a économie pour le commerce à avoir des bateaux du plus *grand tonnage que possible*, tant sous le rapport de la dépense initiale que sous celui des frais courants; les dimensions des bâtiments sur les grandes rivières navigables deviennent 7 mètres de largeur avec 2 mètres de tirant d'eau en charge, 70 mètres de longueur; et leur tonnage s'élève jusqu'à 500 tonneaux.

On voit donc qu'une rivière peut être navigable par bateaux, à *différents degrés*, suivant que l'on considère; la descente ou la remonte; les divers tirants d'eau et tonnages des bateaux employés, et le temps total par an, pendant lequel les bateaux peuvent parcourir la rivière. Pour ce dernier élément il y a défalcation à faire du temps des basses eaux et des crues extraordinaires, où les bateaux ne trouveraient point assez d'eau, ou trouveraient une vitesse trop grande.

Les mouvements des bateaux à la remonte se font soit à la rame, soit par le halage, soit par la remorque à la vapeur.

Du halage et de la remorque.

Le halage s'opère ou par des moteurs animés (des animaux ou des hommes) cheminant sur les rives; ou par ces mêmes moteurs agissant dans le bateau même, sur divers appareils de traction dont les points fixes sont échelonnés régulièrement sur la rive.

La remorque à la vapeur s'opère également ou par l'action de la vapeur sur des mécanismes de roues à palettes et autres fonctionnant sur l'eau, ou par traction sur des points fixes échelonnés comme il vient d'être dit. On renvoie au Mémoire de feu M. Marestier sur les bateaux à vapeur, et à celui de MM. Tourasse et Mellet pour la comparaison de ces divers systèmes à la remonte et à la descente. La figure 322 des planches reproduit le treuil à pression imaginé par M. de Bettancourt pour le halage et la remonte sur le Volga en Russie.

Figures 322 des planches.

Un cheval qui ne peut trainer au pas, avec une vitesse de 0m,80 à 1m,00 par seconde qu'un poids égal :

Sur une route ordinaire empierrée, a 20 fois son effort de traction évalué à. 50 kil., c'est-à-dire 1 ton.;

Sur une route horizontale pavée qu'à 29 fois. . . . . 50 kil., c'est-à-dire 1 ton. 5;

Sur un chemin de fer qu'à 200 fois. . 50 kil., c'est-à-dire 10 ton. 0;

Transporte sur une eau dormante un poids qui va jusqu'à 1200 fois, environ l'effort de traction, ou (1) 60 tonneaux.

Jusqu'ici on avait admis que la résistance croissait avec le carré des vitesses; ainsi en supposant la remonte sur une rivière dont la vitesse serait de 1 mètre par seconde; la vitesse *relative* du cheval marchant avec la vitesse *absolue* de 1 mètre par seconde qu'il avait sur une eau dormante deviendrait 2 mètres; et la charge traînée ne serait que le quart des 60 tonneaux ci-dessus, ou. . . . . 15 ton.

Si la vitesse de la rivière était de trois mètres, et celle du cheval toujours 1 mètre par seconde, la charge qu'il mouvrait serait d'environ $\frac{1}{16}$ de 60 ton. ou . . . . 3 ton. 8.

La loi du carré des vitesses paraissait avoir été infirmée par des expériences faites au canal Calédonien sur des vitesses au delà de 3 à 4 mètres par seconde (voir les *Annales des ponts et chaussées* de 1831, 1833, 1834 et 1835). L'on avait cherché à expliquer ces faits nouveaux, en exposant que dans les grandes vitesses la surface immergée diminuait à l'avant et à l'arrière; qu'il se faisait un vide à l'arrière, et que la vitesse de rentrée de l'eau dans ce vide était moindre que celle du halage à grande vitesse. Depuis, M. John Russel, dans un Mémoire fort important dont la traduction est dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1837, a traité la même question. Entre autres faits sur lesquels il a appelé l'attention, est celui du gonflement de l'eau sous forme d'ondes qui précèdent un bateau en marche, et qui facilitent son passage sur des points où il n'y aurait pas eu *sans cela une profondeur suffisante.* Bateaux marchant à grande vitesse.

Ces expériences se répètent sur le canal de l'Ourcq; elles semblent annoncer que le système de halage à grande vitesse par chevaux aurait plus de chances de succès pour *remonter le fleuve que pour le descendre.* Mais il exige des embarcations d'une grande longueur relativement à leur largeur, et d'un faible tirant d'eau. De plus, une corrélation intime paraît exister entre les dimensions des bateaux et celles du canal. Enfin, sous le point de vue *économique*, le halage à *très-grande* vitesse par chevaux ne

---

(1) On a payé sur le canal du Midi 180 fr. pour le *transport* en huit jours de 100 tonneaux traînés par un seul cheval, sur une longueur totale de 61 lieues (244,000 mètres d'eaux *stagnantes*); ce prix de 180 fr. comprend toutes les dépenses, sauf les droits de péage et de navigation. Le prix de revient pour le transport est donc de moins de 0f,04 par tonneau et par lieue, et 0f,01 par tonneau et par kilomètre.

semblerait pas préférable au transport ou remorque par bateaux à vapeur.

Toutefois, on a remarqué sur les étangs au débouché du canal du Midi, où les paquebots et bateaux de poste marchent avec des vitesses de 3 lieues à l'heure, 3m,30 par seconde; que la totalité des dépenses pour le halage par chevaux pour 15 lieues de trajet n'était que de 8,000 fr. ou un tiers environ de celle des frais de remorque à la vapeur pour une distance égale.

Au reste, les expériences qu'on vient de citer et dont la portée avait paru d'abord très-grande pour la navigation, ont établi aussi qu'une grande vitesse de halage causait un batillage très-dommageable pour les rives, et forcerait de les revêtir en pierres sèches au moins dans les zônes *voisines du niveau de l'eau.*

La remorque à la vapeur au moyen de roues dispenserait de chemin de halage et même de *marche-pieds*; cette même remorque par le touage sur des points fixes des rives, permettrait de se restreindre à un *marche-pied*; mais l'emploi des bâtiments à vapeur sur les rivières sera longtemps encore et peut-être toujours limité aux rivières sinueuses et au service des paquebots pour les voyageurs et les marchandises qui exigent beaucoup de célérité.

On a cru remarquer en Écosse, sur la Clyde, que l'agitation communiquée à l'eau par les roues à aubes des bateaux à vapeur, se transmettait aux sables et vases molles du fond, qu'elle remettait en suspension et faisait cheminer avec le bateau en approfondissant ainsi le fond de la rivière.

D'après ce qui précède, on peut déjà pressentir que les ouvrages qui tendront à diminuer la vitesse ou la pente d'un cours d'eau, et qui n'altéreront pas essentiellement d'autres conditions du régime, amèneront deux résultats; le premier sera une augmentation de la profondeur d'eau minimum, qui réduira les entraves de la navigation existante et y permettra l'emploi économique pour le commerce, de bateaux d'un plus fort tonnage; le second résultat sera d'économiser la force motrice dans la navigation ascendante, et de diminuer les risques pour la navigation descendante.

Chemins et marche-pieds de halage.

Le chemin de halage doit être établi sur celle des rives où le fleuve est le plus profond, et tout à fait sur le bord; afin, d'une part, qu'il y ait moins d'entraves dans le passage des cordes, et que, d'autre part, la traction soit moins oblique. On recommande aussi de placer le chemin de halage autant que possible sous le vent régnant, afin que l'action de ce dernier ne se réunisse pas à celle du halage pour affaler le bateau contre

les rives. Le minimum de largeur d'un chemin de halage au couronnement est 4 mètres.

Indépendamment du chemin de halage d'une rive, il est nécessaire qu'on puisse placer sur l'autre rive des amarres et autres objets; il est quelquefois nécessaire aussi de tirer des deux côtés pour maintenir un bateau dans le thalweg; de là l'établissement d'un marche-pied d'au moins 2 mètres de largeur.

D'après l'ancienne ordonnance de 1669, les propriétaires riverains des rivières navigables subissent le halage comme une servitude, sur 30 pieds (9^{m},70) de largeur pour le chemin, et 10 pieds (3^{m},26) pour le marche-pied; mais on n'a pas le droit de paver le chemin, d'y faire des remblais ou autres travaux qui en dénatureraient le propriété. Quand on veut améliorer le halage, il faut donc acheter le terrain. Bien qu'il soit très-incommode que le halage passe d'une rive à l'autre, cependant les usages anciens, motivés, à l'origine dans beaucoup de localités, par les sinuosités du thalweg, ont été généralement maintenus.

Les chemins de halage et marche-pieds sont insubmersibles aux crues où la navigation montante ou descendante est possible, mais submersibles aux crues plus élevées.

Ces chemins sont interrompus aux divers ponts qui existent sur les fleuves navigables; à moins qu'on n'ait réservé, comme au pont Louis XVI, deux banquettes sous les arches extrêmes des rives; ou comme au pont de Neuilly, deux arches marinières dans le massif des culées; mais l'une et l'autre de ces dispositions supposent que le chenal navigable n'est pas très-éloigné des rives; dans le cas contraire, il faut des arganeaux aux piles de l'arche que le thalweg traverse, et des pieux d'amarrages ou bouées aux débouchés des arches.

Ces chemins de halage et marche-pieds sont aussi coupés par les fossés et cours d'eau affluents, et il faut dès lors des ponts de 2^{m},50 à 3^{m} de voie pour franchir ces obstacles. Leur construction est la même que celle des ponts ordinaires; seulement, pour que la corde de halage ne soit point accrochée, il faut supprimer le parapet du pont du côté de la rivière, ou le raccorder par des parties inclinées avec les rives du chemin à l'amont et à l'aval. Figures 323 des planches

Lorsque le chemin de halage doit traverser des ruisseaux beaucoup plus larges à l'embouchure qu'à une petite distance en amont, on peut les franchir sans passerelles, en accélérant la vitesse des moteurs avant

d'arriver à l'embouchure, et en profitant de cette accélération pour leur faire remonter le gué en amont.

Les chemins de halage pouvant être fréquentés par des chevaux, et servant aussi de chemins d'exploitation, doivent être empierrés et entretenus comme les chaussées des routes. Par la même analogie, on pratique souvent des fossés sur leurs rives.

Ouvrages de conservation du lit et des parois de rive des rivières.

Les ouvrages de conservation du lit des fleuves ont le double objet de préserver les terrains riverains des corrosions des eaux ; et de maintenir celles-ci dans leurs directions, et à la même distance des chemins de halage et marche-pieds. L'on peut y comprendre les draguages réguliers qui enlèvent les dépôts d'alluvions.

Ces ouvrages, à raison de leur grand développement, doivent d'ailleurs être exécutés dans le système le plus économique que possible.

Ils sont d'une grande importance sur les fleuves d'une vitesse rapide, tels que le Rhin, le Rhône, la Dordogne, et sur le Rhin surtout, dont les deux rives appartiennent à deux nations différentes, quelquefois en état de guerre. Il y est souvent arrivé que les ouvrages défensifs d'une rive étaient en quelque sorte aggressifs pour la rive opposée vers laquelle ils dirigeaient le thalweg. Ce fleuve, dont les crues occupaient primitivement une grande partie de la vallée de 12,000 mètres de large où il coule, a été resserré progressivement dans son lit actuel par la construction de digues insubmersibles d'au moins 3 mèt. de largeur au couronnement et disposés sur plusieurs lignes à peu près parallèles. Des terrains de la plus grande fertilité intermédiaires à ces digues, ont été ainsi acquis à l'agriculture. Si le fleuve dans ses crues rompait une partie des digues latérales, la submersion ne serait que partielle, et les eaux d'inondation seraient ramenées dans le lit du fleuve après le passage de la crue. Les levées de la Loire sur la rive droite entre Orléans et Angers ont eu le même but.

Les inondations des terrains riverains par les crues de grands fleuves, tels que le Rhin, la Loire et le Rhône en France, l'Arno et le Pô en Italie, ont produit un résultat fort remarquable, c'est que les zônes les plus voisines des fleuves sont généralement plus élevées que celles qui en sont plus éloignées, et qui avoisinent les flancs des vallées. Cela tient à ce que

les grandes crues déposent immédiatement près des berges les matières les plus volumineuses et les plus lourdes, et qu'elles sont beaucoup moins chargées quand elles s'étendent au loin. La mer produit les mêmes effets sur les lagunes ou *polders* aux embranchements des fleuves. Mais ici l'action du vent sur les sables rejetés par les vagues sur la plage, concourt avec celle des marées. Il en résulte à la longue la formation de marais, parce que les eaux pluviales et celles des sources ne peuvent plus se rendre dans les fleuves dont les crues ont produit ce fâcheux état de choses.

Les plantations d'arbres aquatiques et flexibles comme le saule, ou celles d'autres essences dont les racines s'épanouissent superficiellement et forment réseau, sont un premier moyen de conservation des rives et des talus des digues et levées; car en même temps qu'elles préservent de la corrosion, elles retiennent les troubles charriés par les eaux. Mais ce moyen, quoique applicable à toutes les localités, s'il n'est pas pratiqué à la fois sur les deux rives, peut protéger l'une aux dépens de l'autre. Plantations.

Pour faciliter le développement des plantations, on garnit souvent leurs intervalles, dans les premiers temps, de gros moellons, qu'on retire ensuite.

Les autres moyens de conservation varient suivant la nature des troubles du fleuve, suivant sa vitesse, la nature du terrain des rives, et surtout suivant la nature *des matériaux à bon marché* dont on peut disposer.

Des enrochements en gros blocs de pierre ou de béton; des enrochements en saucissons, en paniers d'osier de diverses formes et contenances remplis de gravier; enfin des enrochements mixtes formés des mélanges de ces matériaux, ont réussi surtout pour les parties *immergées* des rives, quand les parties émergées dressées en talus étaient plantées ou garnies de pérés à joints réguliers ou irréguliers. Enrochements continus. Figures 3 à 4 des planches

Les pérés en maçonnérie de pierres sèches des levées de la Loire, sont remarquables par leur peu d'épaisseur, par la bonté et la solidité de leur construction. Ils ont $1\frac{1}{2}$ de base pour 1 de hauteur; une couche de gravier est placée en arrière de leur intrados; leur fondation est au reste un sillon tracé dans le sable sous l'étiage, et rempli par de la maçonnerie en pierres sèches.

Mais comme la stabilité des enrochements est incertaine, et qu'un seul bloc détaché suffirait pour disloquer l'ensemble, il a paru utile, surtout quand ils forment la base de pérés supérieurs, d'établir sur la Loire une

Figures 325 des planches. et même deux lignes riveraines de pieux équidistants de 1 mètre environ dans chaque ligne.

Ces moyens seraient inefficaces sur le Rhin, dont les eaux, toujours obliques aux rives qu'elles atteignent, creusent, en quelques heures de crues, de véritables gouffres dans le sable; et M. l'Ingénieur Defontaine recommande alors le système mixte d'enrochements des figures 326 des planches. (Figures 326 des planches.)

Revêtements en charpente. Les revêtements en bois des rives sont efficaces lorsqu'on emploie des pieux très-longs au pied de ces revêtements et *lorsque les affouillements sont peu à craindre*; mais ces ouvrages sont très-coûteux et par la dépense première et par les entretiens et renouvellements. Les figures 327 des planches en indiquent quelques exemples. (Figures 327 des planches.)

Revêtements continus mixtes ou exclusivement en fascinages. Le prix élevé de la pierre, l'abondance et le bas prix du gravier et des bois aquatiques, ont déterminé, sur les bords du Rhin et en Hollande, à substituer les ouvrages en tunages aux pérés et aux enrochements.

Ces ouvrages ne sont pas, à la vérité, d'une grande durée absolue, mais leur durée *relative* est suffisante dans les rivières à attérissements, puisqu'elle donne le temps à ceux-ci de se former.

Sur le Rhin, ces tunages, dont il a été question dans la 9e leçon de la première partie, consistent, pour la partie immergée à l'étiage, en couches flottantes de fascines profondément enracinées dans la rive, qui s'avancent vers le large et qu'on fait couler par des couches de gravier. On les fixe ensuite au sol ou aux couches précédemment immergées, à l'aide de piquetages. Ce travail est divisé de manière que les couches de fascines flottent toujours à leurs extrémités vers le fleuve, afin de servir *d'amorces* pour continuer progressivement vers le thalweg cette *espèce de tapis*, qui par sa flexibilité s'adapte d'ailleurs aux diverses formes du fond.

Une grande célérité est nécessaire dans l'exécution, pour éviter les corrosions et affouillements trop considérables que développerait la vitesse de l'eau croissante sous les couches flottantes des fascinages.

En Hollande on défend une rive entamée par les courants, à l'aide des plates-formes échouées décrites dans la première partie (fig. 36 des planches). Mais la remorque et l'immersion de ces nappes colossales seraient impraticables partout où le courant serait très-violent. (Figures 36 des planches.)

Les parties de rives supérieures à l'étiage sont exécutées de diverses manières;

1° en tunages de soutènement, c'est-à-dire par couches de fascines disposées constamment en *boutisses*, et reliées dans le sens de la hauteur par des rangs de piquets. (Figures 328 des planches.)

Ces piquets forment comme les renforts, de petites parois en clayonnage, tressées d'un piquet à l'autre.

Contre ces parois on place du sable, du gravier et de la terre, pour *lester* le système ; puis on recommence de nouvelles couches de fascines en retraite sur les précédentes, suivant le talus en gradins adopté, et dont la base peut varier de 1 à 3 pour 1 de hauteur.

2° Par des perés. Figures 329 des planches.

3° Par une combinaison des deux modes 1ers et 2° ci-dessus et ainsi qu'il est indiqué par les fig. 329 des planches.

4° Par de simples talus en terre avec banquettes plantées.

Les épis ou éperons, saillants plus ou moins sur les rives, ont pour objet, non-seulement de les protéger, mais de former en amont et en aval, dans les rivières chargées de troubles, une plage en attérissements. Ils peuvent être, entièrement ou en partie, insubmersibles ou submersibles, suivant les localités, et être exécutés en enrochements, charpente, fascinages, ou en combinaisons mixtes de ces matériaux. Dans des cours d'eau peu considérables, les épis peuvent être de simples clayonnages, et ces clayonnages peuvent eux-mêmes être restreints à des tiges d'arbres appuyées de l'amont à l'aval, et entrelacées par leurs branches avec des piquets équidistants, ainsi qu'il a été fait par M. l'Ingénieur Laval pour les redressements de la rivière de la Midouze dans les Landes (fig. 330 des planches). Épis ou éperons saillants sur les rives.

Le tracé des épis peut être droit ou brisé, rectiligne ou mixtiligne, relativement au courant d'eau; ils peuvent former avec lui un angle obtus de l'amont à l'aval, ou de 90°, ou même aigu. Figures 330 des planches.

Toutes ces combinaisons ont été essayées, et ont leurs avantages et leurs inconvénients. Figures 331 des planches.

Un premier inconvénient des épis en général, est de dévier le thalweg et de l'infléchir sur la rive opposée, à moins qu'on n'établisse sur celle-ci un *épi symétrique* ; à défaut de cette précaution, le courant, après avoir choqué la rive opposée, viendrait frapper la rive dont il aurait été détourné, et à l'aval de l'épi ; ce qui nécessiterait en ce point un second ouvrage du même genre.

On a remarqué qu'un épi garantissait à l'amont une longueur double et à l'aval une longueur triple de sa saillie sur la rive : il y aurait donc avantage à donner de grandes saillies, s'il n'en résultait des sinuosités fâcheuses dans le thalweg, des corrosions plus fortes à l'aval ; et si l'aug-

mentation de saillie ne rendait pas les épis eux-mêmes plus *attaquables aux courants*, surtout à leur tête et lors des crues.

Dans quelques rivières l'on a donné aux épis pour saillie le $\frac{1}{10}$ et jusques au $\frac{1}{4}$ de la largeur de la rivière. Dans les rivières très-larges, la saillie a été d'ordinaire de 15 et 20 mètres; sur le Rhin elle a été portée jusqu'à 50 mètres; et l'on a pensé qu'elle pourrait même être étendue jusqu'à 80 mètres par un mode plus judicieux d'exécution des épis.

La direction normale de ces éperons par rapport au courant correspond au minimum de longueur de cet ouvrage, et paraît la plus favorable aux atterrissements, parce qu'il s'établit *un triangle* d'eau stagnante; mais cette direction expose l'épi à toute l'action du courant, et peut, dans les crues, hâter sa destruction. Anciennement dans le Rhin on donnait toujours aux épis une direction inclinée de l'amont vers l'aval, faisant un angle d'environ 135 degrés avec la berge à l'amont; et les riverains croient avoir remarqué que ces ouvrages résistaient alors mieux aux crues.

Les épis sur le Rhin étaient aussi primitivement *submersibles* sur toute leur longueur; ils protégeaient efficacement contre les crues à quelque distance en amont et à l'aval; mais il y avait des corrosions dans les angles rentrants des épis avec les rives, lesquelles tendaient à déraciner l'épi. Aujourd'hui l'enracinement est aux hautes eaux, *mais la tête de l'épi* est placée au niveau des basses eaux.

La plupart des épis existants sont rectilignes, probablement pour établir la plus grande solidarité que possible entre les matériaux dont ils sont formés. Leur enracinement dans les rives exige une grande solidité; aussi les épis ont, autant que possible, une augmentation progressive de largeur depuis la tête jusqu'à la rive, et des raccordements curvilignes avec cette dernière, dans laquelle ils pénètrent au reste par des espèces de *tenons* simples ou multiples.

Les épis, en enrochements de pierres ou de paniers à graviers, les épis en charpente ou en fascinages, sont disposés de manière à recueillir dans leurs interstices les troubles charriés par les eaux; les épis en fascinages ont particulièrement cette propriété.

M. l'Ingénieur Defontaine recommande, dans son mémoire sur les travaux du Rhin (*Annales des ponts et chaussées* de 1833), deux systèmes d'épis de défense pour des fleuves tels que le Rhin, à fond sablonneux, à grande vitesse, et sujets à de fortes crues.

Le premier, dit de tapis *enrochés*, est restreint au cas où le thalweg du

fleuve ne doit pas être sensiblement dévié de la direction parallèle à la rive, et où il ne s'agit que de le reporter à 25 à 30 mètres plus au large. C'est une sorte d'enrochement discontinu, à grand talus, environ de 4 pour 1 vers le fleuve, dont le noyau est en petites plates-formes de fascinages nommées *tapis*, qu'on fait couler par des rechargements en gravier.

L'axe de l'épi est incliné de l'amont vers l'aval; la tête de l'ouvrage est arrondie et présente à l'aval une sorte d'angle rentrant qui a été reconnu nécessaire pour rejeter le courant plus au large. Figures 332 des planches.

Le deuxième système d'épis, dit *jetées-barrages*, se prête à des saillies de 70 à 80 mètres sur les rives, et convient surtout lorsqu'il faut éloigner le fleuve à une distance considérable d'une anse trop concave.

Il consiste à élever, à la distance où l'épi doit aboutir vers le large, une sorte d'ilot *insubmersible*, et à le rattacher à la rive également insubmersible, par une digue ou jetée *submersible* par gradins, et ainsi que l'indiquent les fig. 333 des planches. Figures 333 des planches.

M. l'Ingénieur Defontaine fait remarquer que dans ce système, essayé près de Strasbourg, il n'y a de remous à l'amont à aucune époque des crues, et qu'il y a dépôt d'alluvion et non affouillement. A l'aval, la couche d'eau stagnante en contre-bas des basses eaux prévient les effets de *cascade* des eaux des crues passant sur les zônes submersibles de la jetée.

Dans l'ordre d'exécution indiqué par M. Defontaine, on prépare d'abord en tunages l'enracinement complet de la future jetée dans la rive; puis on élève jusqu'aux basses eaux l'ilot ou contrefort du large, par des enrochements de saucissons et paniers rembourrés de gravier, et en s'étendant de plus en plus vers la rive et dans l'alignement de la jetée. Cette dernière, fondée ainsi sur un radier de 20 mètres de largeur, s'élève ensuite en *tunages ordinaires* jusqu'à son couronnement disposé en gradins. On termine le travail en revêtissant en libages les talus du contrefort ou ilot du large, et en jetant du gravier à l'amont et le long de la jetée submersible, pour étancher les filtrations que la charge d'eau de l'amont à l'aval tendrait à produire.

On rappelle qu'il faudra chercher dans la *Collection lithographique de l'Ecole des ponts et chaussées*, dans le Mémoire déjà souvent cité de M. l'Ingénieur en chef Defontaine, et dans l'*Architecture hydraulique* de Bélidor, tome II, des détails plus amples sur les travaux de revêtissage de rive, sur ceux d'épis de défense et de barrages, et aussi sur ceux de réunion d'iles à la terre ferme.

Beaucoup de localités en France pourraient, avec économie, employer les ouvrages en fascinages en substitution de ceux en bois et en pierres; car il suffit, comme on l'a déjà dit ailleurs, que ces ouvrages durent jusqu'au moment où ils seront en quelque sorte enfouis dans les attérissements qu'ils auront déterminés.

Il serait donc essentiel de répandre les connaissances pratiques des travaux de fascinages, en cherchant des chefs ouvriers soit en Hollande, soit dans les contrées riveraines du Rhin, où l'expérience et les traditions de centaines de générations ont été stimulées encore par l'importance des intérêts agricoles qui eussent été compromis en cas de non réussite.

Coupures et draguages.

Dans les rivières à section très-large, sujettes à de grandes crues, à fond mobile comme le Rhin, où les zônes centrales du lit sont souvent occupées par des îles, et où le thalweg passe des bras de la rive gauche à ceux de la rive droite, en traversant les intervalles entre les îles, on a cherché à le rectifier par des coupures à travers ces îles.

Coupures.

M. l'Ingénieur Defontaine, qui a fait exécuter des coupures dans les îles du Rhin, fait observer que les conditions principales de ces coupures sont :

1° D'être approfondies autant que possible;

2° D'être raccordées par des courbures prononcées avec l'axe du thalweg en amont;

3° de n'être ouvertes aux eaux du fleuve qu'après qu'on a *barré en aval de l'île le bras dont on veut faire sortir le thalweg.* On avait cru pouvoir se dispenser de ces barrages sur le Rhin, et se borner, soit à appeler les eaux dans le nouvel orifice à l'amont de la coupure en prolongeant cet évasement par des épis saillants, soit à les porter sur cet orifice par des éperons saillants sur la rive que corrodait le fleuve. Mais ces moyens avaient échoué, par l'impossibilité où l'on avait été d'approfondir la coupure au *niveau du fond* du thalweg à dévier;

4° D'être purgées des souches d'arbres et des roseaux dans la zône qui doit être le nouveau lit du thalweg.

Les eaux rejetées dans les coupures effectuent ensuite elles-mêmes et l'approfondissement et l'élargissement du nouveau lit.

Enfin, M. l'Ingénieur Defontaine pense que des coupures très-profondes de 5 mètres à 9 mètres seulement de large au plat-fond peuvent suffire dans les îles du Rhin.

Cet Ingénieur pour éviter les effets des eaux sur les parois des coupures a employé un appareil qui a été utilisé aussi pour le draguage ordinaire des rivières étroites, toutes *les fois qu'il n'y a pas d'inconvénients à abandonner au cours des eaux, les matières détachées.*

Il consiste en vannes mobiles verticalement interposées entre deux petits bateaux; cet équipage, placé à travers des eaux, en détermine le gonflement; elles sont forcées de passer sous la vanne levée, et déversent en même temps par dessus. Cet appareil a réduit des $\frac{9}{10}$ les dépenses des déblais qu'il y aurait eu à faire, comme à l'ordinaire, à la pioche, à la pelle et à la brouette. Figures 334 des planches.

Le draguage a pour objet ou d'extirper des roches, souches d'arbres et débris qui gênent la navigation, ou d'enlever des dépôts d'alluvions. Draguages.

Sous ce dernier rapport, c'est un moyen, à la vérité dispendieux, mais efficace, et il n'a pas l'inconvénient comme beaucoup d'ouvrages d'art, ou d'aggraver l'état des choses malgré les intentions contraires des auteurs des projets, ou de substituer d'autres inconvénients également graves à ceux auxquels il fallait obvier. Il est probable que les Anciens en faisaient grand usage et y appliquaient leurs esclaves ou leurs prisonniers.

L'on ébranle et détache les rochers sous l'eau au moyen de pieux en fer qu'on bat dans leurs joints, et de longues tenailles manœuvrées sur un bateau. On peut encore les faire sauter avec de la poudre au moyen de trous forés avec une barre à mine, ou avec un fleuret, et dans lesquels on introduit des boîtes en fer-blanc. Ces boîtes sont remplies de poudre pure, ou de poudre mélangée par économie avec de la sciure de bois (comme il a été déjà dit). L'orifice des tubes de ces boîtes est hors de l'eau, et c'est par là qu'on enflamme la poudre. La cloche à plongeur a été employée avec succès pour des travaux préparatoires à l'enlèvement des blocs, bois et débris.

Le draguage se borne souvent, comme dans l'équipage à ventelles mentionné ci-dessus, à détruire la liaison des matières à l'aide de rateaux et de charrues. Ces engins sont mus directement par des chevaux, ou par des hommes; et quelquefois par des barques cheminant à l'aviron. On abandonne ensuite les matières au courant. Quelquefois l'appareil non-seulement sillonne les dépôts d'alluvions, mais les charrie lui-même sur un point déterminé. Enfin, dans beaucoup de cas, la machine détache les matières, et les rejette sur la rive ou dans des bateaux qui les déchargent plus loin. Figures 335 des planches.

On entrera dans plus de détails sur les machines à draguer, en parlant des ports de mer.

RÉSUMÉ DE LA VINGT-CINQUIÈME LEÇON.

TRAVERSÉES DES VILLES PAR LES RIVIÈRES. — QUAIS, CALES, EMBARCADÈRES ET PORTS DE DÉCHARGEMENT. — TRAVAUX D'ÉTABLISSEMENT OU D'AMÉLIORATION DE LA NAVIGATION DANS LES FLEUVES ET RIVIÈRES.

Les traversées des villes par les rivières navigables exigent divers travaux d'art, tels que plans inclinés ou quais riverains, avec rampes et escaliers de communication, ponts embarcadaires, et quelquefois même des gares de stationnement pour mettre les bateaux à l'abri des accidents que détermineraient des crues extraordinaires ou des débâcles de glaces.

Les quais ont le triple objet de laisser aux constructions civiles et voies de communication le maximum de terrain disponible, de préserver leurs fondations de l'action des eaux, et de faciliter les chargements et déchargements des navires et bateaux.

Non-seulement les quais doivent avoir toute la résistance des murs de soutènement ordinaires; mais de plus leur assiette de fondation doit être inattaquable, et être établie avec le même soin que celle des piles et culées des ponts en maçonnerie : aussi leur applique-t-on les mêmes systèmes de fondation.

Suivant les terrains et les localités, l'on emploie pour leur construction des bâtardeaux submersibles ou insubmersibles, des caissons foncés ou non foncés, et la cloche à plongeur. La figure 82 des planches a déjà indiqué le mode d'exécution d'un quai de Rouen, qui présentait beaucoup de difficultés de construction.

Figures 82 des planches.

Les parements des quais sont tantôt en pierres de taille, tantôt en maçonneries à mortier ordinaire de moellons ou briques, tantôt un mélange de ces diverses espèces de maçonneries. Les parapets, quand il est possible d'en établir, sont presque toujours en pierres de taille d'un grand échantillon.

Quand il n'y a pas de parapets, on couronne les quais soit par un cours de tablettes en pierres de taille de grand échantillon, entrelacées les unes dans les autres; soit par des encadrements en bois ou en fonte

dont les cases sont remplies de pavés ou moellons de champ. Ces encadrements, même ceux en fonte sont dans beaucoup de localités, moins coûteux que le couronnement en pierres de taille.

Le prix du mètre courant des quais de 6 mètres de hauteur avec parements en pierre de taille peut varier, suivant les prix des matériaux et le système de fondations, de 400 fr. à 3,000 fr.

On a renoncé presque généralement aux maçonneries en pierres sèches et aux ouvrages en charpentes pour les quais, en raison de leurs promptes détériorations et fréquents renouvellements. Les figures 336 des planches indiquent entr'autres un quai en charpente exécuté en 1820 dans la Flandre. Figures 336 des planches.

Toutefois, pour garantir les parements des quais *lorsqu'ils sont exposés à l'accostage des bateaux*, il serait utile d'y appliquer des *masques* amovibles en bois, à l'imitation de ce qui s'est pratiqué dans divers ports de mer et en Angleterre, notamment à Deptford et aux docks de la compagnie des Indes-Orientales, ainsi qu'il sera *dit dans la dernière partie du présent ouvrage*. Dans la même hypothèse, les parements des quais doivent être munis à diverses hauteurs et de 10 en 10 mètres au moins, de boucles à charnières tenues par des arganaux, et pouvant servir à l'amarrage des bateaux. De plus, sur les terre-pleins, en arrière du couronnement des quais, des bornes en fonte ou en bois équidistantes concourent au même but, et servent aussi aux amarrages des appareils de déchargement des bateaux. Figures 337 des planches.

Ces terre-pleins peuvent d'ailleurs rester chargés pendant plusieurs semaines d'amas de matières lourdes ; ils sont même destinés à recevoir des édifices permanents. Il importe d'y avoir égard dans le choix du système de fondations, et dans les calculs des formes et dimensions des quais de soutènement.

A Paris, on a évidé en arcades, et sur une assez grande profondeur, le dessous de beaucoup de terre-pleins des quais. Le sol d'assiette de ces arcades n'est couvert que par les crues de la Seine.

Pour élargir d'autres terre-pleins on a jeté le long des quais de soutènements, des encorbellements qui portent le trottoir de la rue et son parapet.

Le bas prix de la fonte de fer en Angleterre y a déterminé son application d'abord à des coffrages de bâtardeaux, puis à des pilotis à revêtements de quais permanents. Voici, à ce sujet, l'extrait d'un mémoire publié en Angleterre par l'Ingénieur Michael Borthwick en 1836. Le premier exemple remarquable a été la construction de la tête de la jetée nord du havre de Bridlington. La fondation était soutenue par un système de Revêtements métalliques de quais.

Figures 338 des planches. panneaux en fonte de 2m,40 à 2m,70 de hauteur, chacun de 0m,52 à 0m,60 de largeur et 0m,012 d'épaisseur. Les figures 338 des planches en donnent la coupe horizontale.

Ultérieurement, on a fait usage pour la construction, sur la Tamise, d'un barrage très-considérable, et pour la fondation des musoirs d'entrée de divers docks au port de Liverpool, d'une nouvelle combinaison, Figures 339 des planches. pour laquelle M. Ewart avait pris patente. La figure 339 des planches en donne la coupe horizontale; la longueur des panneaux était de 3m,50. On craignait des difficultés dans le battage de ces panneaux. On eut soin de les engager entre deux fortes ventrières horizontales en bois, et de faire tomber le mouton à bras, du poids de 150 à 200 kilogrammes, bien verticalement dans la direction du panneau, afin que le choc oblique ne tendît point à deverser ce dernier ou à le briser. On battait en même temps les deux pièces successives de devant et d'arrière. Dans une des circonstances où l'on avait fait usage de ces espèces de palplanches en fonte, on s'était borné d'abord à les mettre toutes en fiche sur une partie de leur hauteur, puis on faisait repasser le mouton à plusieurs reprises et successivement sur toutes les pièces pour leur procurer leur fiche définitive.

En 1824, l'Ingénieur Walker employa la combinaison de palplanches Figures 340 des planches. en fonte représentée fig. 340 des planches, dans la reconstruction de l'extrémité d'un quai du dock de Sainte-Catherine de Londres. La résistance du terrain rendit impossible d'enfoncer les panneaux à profondeur et sur une ligne régulière.

Un ouvrage du même genre, mais d'une bien plus grande dimension, Figures 341 des planches. de 600m de longueur, a été terminé, en 1832, par l'Ingénieur Cubite, au débouché à la mer du cours d'eau navigable de Noorwich. On voit par la figure 341 des planches que cet ouvrage se compose de palplanches à nervures juxta-posées de 9 mètres de longueur, et dont l'épaisseur métallique est de 0m,038; chacune d'elles pèse environ 1,500 kilogrammes; la nervure se réduit à 0m,15 au sommet, et ce dernier élargi, présente une large tête au battage. Vers le pied, cette nervure s'amincit par une suite de petites retraites. La forme courbe primitive donnée au démaigrissement, repoussait les palplanches vers le large dans le battage.

Le battage se faisait avec des moutons du même poids que les palplanches, mais tombant d'un faible chute. Ce revêtement en fonte est retenu contre la poussée des terres par des tirants en fer espacés à 0m,80 dans la longueur, et placés sur deux étages. Comme dans ce système il n'y a pas de recouvre-

ments de joints, il est nécessaire de conduire le battage avec la plus grande précision. L'Ingénieur Cubitt avait imaginé à cet effet des guides en fer forgé qui embrassaient la palplanche déjà enfoncée, et contenaient le bord attenant de la palplanche qu'on mettait en fiche.

En 1833, l'Ingénieur Sibley a construit un revêtement en fonte sur un principe différent du précédent, et exprimé par la figure 342 des planches. On voit qu'il consiste en panneaux plats de fonte, qui sont engagés dans des coulisses saillantes que portent des pieux creux en fonte, à section elliptique. Les pieux sont espacés de 3 mètres, ont 6 mètres de longueur, pèsent chacun 1,250 kilogrammes; ils sont retenus vers l'intérieur par des tirants en fer. Figures 342 des planches.

Aux abords du nouveau pont de Londres, un revêtement dans le même système a été fait; mais les pieux y ont 13 mètres de longueur en deux morceaux inégaux réunis par des pattes : la section du tuyau creux est cylindrique, de 0m,30 de diamètre; l'épaisseur du métal est de 0m,038, et chaque pieu creux est retenu à l'intérieur par deux tirants étagés en fer forgé, de 0m,05 en carré, et de 21 mètres à 24 mètres en longueur. Cette grande longueur a été motivée par la masse considérable et la grande profondeur du remplissage en arrière. Des enrochements extérieurs au pied du revêtement en fonte, auraient peut-être permis de réduire la longueur des tirants.

Un ouvrage, presque aussi important que les précédents, de 216 mètres de longueur, mais plus récent, est le revêtement d'un quai construit par les ingénieurs Walker et Burges sur la Tamise, vis à vis le dock des Indes-Orientales de Blackwall. Les figures 343 des planches indiquent la combinaison adoptée. Elle consiste en pieux directeurs en fonte, formés de deux morceaux dans leur longueur, et réunis à pattes et avec vis et écrous; entre ces pieux se trouvent : dans la zône inférieure, des palplanches en fonte se recouvrant les unes les autres dans leurs joints; dans la zône supérieure des *virures* horizontales de panneaux, dont les joints sont remplis de mastic de limaille de fer. Le recouvrement des palplanches obvie aux légères irrégularités du battage, et rend plus difficile l'introduction de l'eau. Malgré la nature graveleuse du sol, le battage a pu être fait régulièrement, et il n'a fallu de *closoirs* spéciaux de palplanches que pour un petit nombre d'intervalles de pieux. Le remplissage en arrière de cette muraille métallique était un mélange de chaux et de gravier dans le dosage de 1 sur 10. Figures 343 des planches.

Les pieux sont d'ailleurs retenus ici comme dans les combinaisons précédemment relatées, par des tirants en fer qui vont se rattacher dans les ancrages intérieurs.

On avait d'abord voulu exécuter les pieux directeurs comme dans les figures 344 des planches; mais on y a renoncé, par la crainte d'avoir un moulage défectueux et beaucoup de pièces brisées dans le battage.

Figures 345 des planches.

La forme préférée, et beaucoup de précautions dans le battage, ont réduit les déchets à 16 pieux sur 600. Les palplanches, qui n'étaient projetées qu'à $0^m,025$ d'épaisseur, ont été portées définitivement à $0^m,03$, en sorte que le poids de chacune d'elles était d'environ 800 kilogrammes.

Le battage a été effectué avec des moutons du poids de 600 à 700 kil., dont la chute a dû être limitée à $1^m,00$, et même moins, quand la résistance du terrain menaçait de faire déverser les palplanches. Le mouton ne tombait pas directement sur la tête de la palplanche, mais sur une planche d'orme intercalaire de $0^m,02$ d'épaisseur.

Si le sol, au lieu d'être graveleux, avait été argileux, il aurait paru avantageux de faciliter le battage, particulièrement pour les pieux directeurs, en forant à l'avance des trous dans l'emplacement de leur fiche.

Le poids total en fonte employé dans le travail en question a été de 900 tonneaux.

D'après la notice ci-dessus, on voit que l'emploi de la fonte pour revêtements n'est pas une innovation récente en Angleterre. Toutefois, les ingénieurs anglais craignent eux-mêmes, et avec raison, la détérioration du métal par l'eau, et particulièrement par l'eau de mer. On a déjà indiqué dans la huitième leçon, page 86, les effets de cette dernière. Mais, de plus, le peu de résistance de la fonte à des chocs exposera les nouveaux revêtements à de rapides détériorations.

En France, où la fonte est beaucoup plus chère qu'en Angleterre, où il est plus difficile de l'obtenir douce et purgée de défauts, on préférera toujours les maçonneries ou le bois, excepté dans les localités où la dureté de la pierre rendrait sa taille et sa pose très-dispendieuses. Sous ce rapport, la fonte pourrait, dans beaucoup de circonstances, pour des ouvrages *hors de l'eau*, qui ne seraient pas exposés à des chocs, remplacer avec avantage les pierres, et *notamment dans les constructions civiles pour les encadrements des ouvertures de toute espèce.*

Communications des terre-pleins avec les cours d'eaux

Les communications des terre-pleins avec les cours d'eau s'établissent, soit par des escaliers de rive, soit par des rampes de $\frac{1}{12}$ d'inclinaison à

l'horizon, soit par des ponts embarcadère qui se prolongent jusques aux points où les bâtiments peuvent toujours être à flot; là ces embarcadères insubmersibles sont terminés par des escaliers aboutissant aux bateaux ou à des radeaux permanents.

Les escaliers et cales ne sauraient être placés perpendiculairement ni obliquement sur la direction des quais, sans couper les terre-pleins ou sans produire des saillies gênantes pour les mouvements des bateaux, et pour le régime des rivières. On adopte de préférence une direction *parallèle* à la longueur du quai; mais toute la largeur de ces escaliers et rampes est alors en arrière du parement des quais en amont ou en aval, et cela par les mêmes motifs qu'on vient de donner. Cette largeur est, au minimum de 1^m,50, 3 mètres ou 6 mètres, suivant qu'elle doit servir au passage de brouetteset de civières, d'une seule voiture de front, ou de deux.

Les ponts embarcadères sont au contraire perpendiculaires au cours des eaux; mais pour qu'ils ne déterminent pas des affouillements sur certains points et des atterrissements sur d'autres, on donne une grande portée à leurs arches ou travées. Dans beaucoup de cas le système d'embarcadères analogues aux ponts suspendus et déjà employé en Angleterre serait préférable.

Les figures 345 des planches indiquent l'embarcadère suspendu de la Trinité. Figures 345 des planches.

Le mode de construction de ces ponts est d'ailleurs le même que celui des ponts ordinaires; la largeur de leur voie est, au minimum, de 1^m,50, 3 mètres, ou 6 mètres dans les mêmes circonstances qui ont été indiquées pour les cales et escaliers.

Les embarcadères sont quelquefois des plans inclinés mobiles autour de charnières fixées à leur partie supérieure. Leur partie inférieure s'appuie sur un *raz* ou ponton à flot sur lequel elle peut glisser suivant les variations qu'éprouve le niveau des eaux.

Les quais, dans les villes de commerce, sont munis de grues, fixes ou amovibles dont les figures 346 des planches relatent quelques exemples. Figures 346 des planches

Les plans inclinés, dressés à la pente minimum de $\frac{1}{10}$ et plus fréquemment à celle de $\frac{1}{12}$ à $\frac{1}{20}$ sont quelquefois préférés aux quais, par des motifs d'économie; mais leur emploi est limité aux localités où :

1° La largeur disponible sur les rives est très-grande;

2° Les objets à embarquer sur les bateaux ou à en débarquer, peuvent

ou doivent être immédiatement chargés en voitures, ou halés à terre par des treuils et autres appareils.

Figures 347 des planches.

Les figures 347 des planches indiquent le mode fréquemment suivi pour corriger les effets d'une pente trop roide dans le rampant des plans inclinés.

A Paris et dans quelques grandes villes, où les terre-pleins des quais formant rues sont élevés de beaucoup au-dessus du niveau moyen des eaux, l'on a fait usage d'un système mixte formé de deux quais ou de deux plans inclinés avec terre-pleins intermédiaires en deux étages.

Le couronnement du quai ou plan incliné le plus près du thalweg est au-dessus du niveau ordinaire des eaux, *mais submersible aux crues*; il est garni des grues et autres appareils à mouvoir les fardeaux. Il est suivi en arrière d'un large terre-plein en pente de 20 mètres de largeur minimum, dénommé *port*, lequel aboutit au second rang de quais ou plans inclinés, et communique par des escaliers ou cales avec le terre-plein supérieur du deuxième étage en arrière de ces quais.

Cette combinaison a le grand avantage de laisser aux crues un débouché suffisant, et de procurer un large empattement en avant des fondations des quais supérieurs du second rang; ces derniers ont en effet une importance bien plus grande que les quais submersibles du premier rang.

Gares de stationnement.

Les gares de stationnement sont placées quelquefois sur l'une des rives d'un cours d'eau, et de préférence dans un des bras, si les eaux se divisent. Ces gares, où les eaux suivent *ordinairement* toutes les dénivellations du fleuve, sont protégées, à l'amont et quelquefois latéralement,

1° Soit par de fortes claires-voies en charpente, avec passes facultatives;

2° Soit par des radeaux flottants amarrés à leurs extrémités.

Les parois latérales à la gare de Grenelle sont formées d'un côté par la rive gauche de la Seine, de l'autre par une jetée insubmersible longitudinale revêtue de pérés sur les deux talus. Les dimensions en longueur et largeur de ces gares, dépendent d'ailleurs des localités, des formes, des dimensions et du nombre des bateaux à remiser.

Figures 348 des planches.

Les gares peuvent, comme les bassins à flot des ports de mer, dont il sera question ultérieurement, être isolées de la rivière par une écluse avec simple ou double jeu de portes; les unes maintenant le niveau des eaux intérieures, les autres résistant à l'excédant de charge des eaux des crues extérieures. Les mouvements des bateaux exigent alors qu'on fasse d'abord entrer l'eau extérieure ou sortir une tranche de l'eau intérieure pour rétablir l'équilibre. Enfin, pour éviter cette dernière

sujétion, on peut recourir à une écluse à sas, comme celles des rivières canalisées, qu'on mentionnera plus bas.

Lorsque les parois des gares sont simplement à claires-voies, il faut donner à la charpente de ces dernières une grande résistance contre le choc des glaçons, des bateaux, et des débris de toute espèce entraînés dans les débâcles et crues d'eau. On les compose de fermes équidistantes analogues aux piles des ponts en charpente, tenues de la même manière dans le sol, armées comme elles de brise-glaces, et reliées dans le sens de la longueur, sur le devant, par des cours horizontaux de ventrières, ou groupes de moises à plusieurs étages; et sur l'arrière par des groupes analogues mais moins nombreux. On intercale souvent des croix de Saint-André en bois entre les divers cours de la même paroi, pour les consolider et mieux fermer le passage aux glaçons. Figures 3:9 des planches.

Considérations générales sur les travaux d'établissement ou d'amélioration de la navigation dans les rivières.

Le problème de l'établissement ou de l'amélioration de la navigation dans les fleuves et rivières, est l'un des plus compliqués à la fois d'économie *politique et commerciale* et d'exécution technique; toutefois, dans la marche progressive des idées, il a précédé celui de la navigation artificielle.

Ce problème ne saurait admettre en effet de solution générale. Car si la navigation ne doit être que descendante, et qu'il y ait une profondeur d'eau suffisante, la vitesse de l'eau étant *elle-même la force motrice*; il n'y a d'autre limite que celle des périls auxquels une grande vitesse exposerait. Si la profondeur d'eau, dans le même cas, est insuffisante pour des bateaux d'une certaine catégorie, elle ne peut être augmentée qu'en ralentissant la vitesse. Il y aura donc à examiner si l'emploi de ces bateaux avec une vitesse moindre et partant *avec un trajet total plus long*, sera plus avantageux que celui de bateaux de moindre tonnage et allant plus vite. Dans la comparaison, il y aura d'ailleurs à tenir compte des droits de navigation, représentatifs de l'intérêt des capitaux et des dépenses d'entretien résultant des changements projetés.

Si la navigation n'est qu'ascendante, les travaux qui auraient pour objet le ralentissement de la vitesse produiraient en général, non seulement une grande économie de force motrice, mais encore un plus grand

tonnage, et il n'y aurait plus qu'à mettre cet avantage en regard des sacrifices par lesquels il faudrait l'acheter.

Mais si la navigation est à la fois ascendante et descendante, *et dans des proportions variables*, les solutions peuvent elles-mêmes être très-diverses.

Les moyens d'art, pour réaliser ces solutions, offrent un champ bien plus étendu encore de combinaisons.

La première question qui se présente, pour tout le cours d'une rivière ou pour une partie de ce cours, est celle-ci : la navigation sera-t-elle établie ou maintenue dans le lit actuel? ou bien en ouvrira-t-on un nouveau, soit avec eaux courantes, soit avec eaux stagnantes? sur laquelle des deux rives de l'ancien lit sera placé le nouveau lit?

D'une part, sont les habitudes prises, les réclamations des riverains actuels, qui, exposés aux dommages des rivières, n'en veulent pas perdre les avantages qui en sont la compensation ; d'autre part, les intérêts d'usines existantes, que des modifications dans le cours des eaux restreindraient ou supprimeraient; puis apparaissent les besoins de la navigation locale ascendante et descendante, quelquefois contraires entre eux et aux précédents; enfin ceux de l'Etat, soit comme représentant les intérêts généraux, de la défense militaire du pays, de la navigation, du commerce, et des consommateurs, soit comme administrateur économe des deniers des contribuables.

Des impossibilités matérielles, ou des chances de dépenses énormes, viennent généralement résoudre ce tissu compliqué de questions. L'on va exposer sommairement les divers travaux susceptibles d'établir ou d'améliorer la navigation.

Opérations préalables à un projet d'amélioration de la navigation.

Un préalable indispensable, c'est de lever un plan général du cours d'eau existant et de ses affluents ; de dresser des profils longitudinaux et transversaux et nivellements du lit, des rives et de leurs abords, indiquant le niveau des eaux les plus basses, des eaux ordinaires et des crues par rapport aux rives; de recueillir des renseignements nombreux et de plusieurs années, sur les saisons et durées des états principaux des eaux ; sur les jaugeages du volume des eaux dans ces mêmes états. Enfin, et c'est là le point capital, il faut étudier le régime de la rivière, c'est-à-dire la nature des troubles qu'elle charrie, les affouillements et atterrissements qui s'y manifestent, et la solidité du fond primitif relativement aux diverses espèces d'ouvrages d'art qu'on aurait à exécuter.

Les formes et dimensions des bateaux en usage, soit dans la localité, soit dans les canaux et rivières avec lesquels communique celle dont on s'occupe, et les habitudes de la navigation, doivent également être annotées.

Les nivellements pour les eaux sont effectués à l'aide de bons niveaux à bulle d'air, avec la précision de 4 à 5 millimètres pour une station de 1000 mètres, et doivent être vérifiés plusieurs fois.

On sait d'ailleurs que la théorie des eaux courantes à découvert, se résume dans les deux formules ci dessous de M. de Prony, qui ont été vérifiées par M. Ethelevin sur des cours d'eaux importants, et auxquelles il faut joindre dans l'application la loi générale de continuité :

$$V = l.hu, \qquad u = -0,07 + \sqrt{0,005 + 3233.\frac{lh}{l+2h}i}$$

(en ne tenant pas compte des talus des rives); dans lesquelles V est le volume des eaux en mètres cubes par seconde, l la largeur du lit, h la profondeur moyenne, u la vitesse moyenne par seconde, i la pente par mètre, le tout exprimé en mètres.

Dans les rivières où la largeur est très-grande relativement à la profondeur, on peut sans erreur grave, faire

$$u = -0,07 + \sqrt{0,005 + 3233i\frac{l}{l+2}},$$

et même quand cette largeur est au delà de 40 mètres,

$$u = -0,07 + \sqrt{0,005 + 3233i}.$$

On trouvera, dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1835 et 1836, des mémoires de MM. de Prony, Coriolis et Vauthier sur les applications de ces formules aux diverses questions qui peuvent se présenter.

Ouvrages destinés à corriger les défauts de largeur et les sinuosités.

Un premier empêchement à la navigation, c'est le défaut de largeur d'une rivière, soit dans ses parties rectilignes, soit dans ses parties sinueuses. Si l'on veut augmenter cette largeur par des déblais, on diminuera probablement et la profondeur et la vitesse; et si la rivière charrie des troubles, il est probable aussi que des atterrissements (à moins de draguages continuels) reformeront les rives primitives.

Les sinuosites, outre qu'elles diminuent par le fait la largeur praticable pour les bateaux, ont encore l'inconvénient, quel que soit le sens

de la navigation, d'augmenter la longueur du trajet. Mais si l'on ouvre, entre leurs points extrêmes, un nouveau lit, la pente par mètre à la surface des eaux sera augmentée de beaucoup, et il y aura diminution de profondeur; de plus, si les *parois sont susceptibles d'être corrodées*, il pourra se faire, surtout dans les crues, que la rivière rétablisse à la longue des sinuosités d'un développement égal au précédent, ainsi que cela est arrivé dans une partie du cours de l'Oise au-dessus de Compiègne.

Un canal à eaux stagnantes avec les écluses à sas, dont il sera question plus bas, parait le seul moyen à l'abri des inconvénients précédents; mais le temps nécessaire pour franchir les écluses, les tarifs de péage représentatifs de la dépense et de l'entretien du canal, peuvent compenser et au delà la plus grande longueur du trajet primitif dans le lit sinueux de la rivière.

Balisage.

Dans les rivières où les courants se modifient par suite de la mobilité des bancs d'atterrissements, on est obligé de baliser.

Quand les changements n'ont lieu que de loin en loin, on balise par *amers* comme sur les côtes de la mer; c'est-à-dire qu'on établit sur les rives du cours d'eau, des repères amovibles dont les alignements deux à deux indiquent aux bateaux la route à suivre.

Mais quand les déplacements de bancs sont fréquents de quinze en vingt jours comme sur la Loire, on indique les passes par de longues perches fichées sur les bords du thalweg variable, et portant un signal.

Ouvrages destinés à corriger une trop grande vitesse.

Si la vitesse des eaux est l'obstacle principal de la navigation, on la diminuerait :

1° Par l'un des moyens suivants :

En allongeant le cours de la rivière par des sinuosités,

En l'élargissant,

En la creusant,

Et en faisant concourir deux à deux ces divers moyens,

Enfin en les employant tous trois à la fois.

L'allongement par des circuits, dans beaucoup de cas, augmenterait le trajet, déterminerait des atterrissements d'un côté, et subséquemment des affouillements de l'autre, et aurait souvent pour résultat de rendre la navigation impraticable.

Le ralentissement de la vitesse par l'élargissement ou l'approfondissement du lit déterminerait dans les mêmes cas des dépôts irréguliers, qui, à la longue, rétabliraient l'état primitif d'équilibre entre la vitesse et la ré-

sistance des parois du lit, mais ne laisseraient pas peut-être le thalweg dans la direction première.

2° En établissant de distance en distance des barrages transversaux, qui, relevant le plan d'eau, augmenteraient la profondeur, et par suite le débouché, et réduiraient la pente superficielle des eaux et leur vitesse dans les intervalles des barrages. Mais, outre les chances d'atterrissement sur le fond et les rives, qui nécessiteraient des draguages permanents si la rivière charriait beaucoup de troubles; outre les chances d'affouillements en aval des barrages si le lit de la rivière n'était pas résistant ou *protégé par des* ouvrages d'art; il y a de plus, dans ce moyen, s'il est fixe et permanent, moins prompte évacuation des crues, chances de submersion pour les terrains en amont; et si le barrage est amovible lors des crues, il y a une manœuvre pénible à faire à chaque crue. La dépense annuelle jointe à l'intérêt des dépenses premières des barrages, aux draguages annuels, se résument d'ailleurs en droits de péage lesquels doivent être mis en regard des plus-values que paye la navigation ascendante par la trop grande vitesse de la rivière. Comme le passage par les pertuis ou écluses des barrages allonge le temps du trajet et augmente ainsi indirectement la dépense de transport, il faudra également faire entrer cet élément dans la comparaison.

D'ailleurs l'emploi des barrages est souvent fort difficile dans les parties inférieures du cours de la plupart des rivières sujettes à des crues violentes, lorsque leurs rives sont basses et formées d'alluvions. L'encaissement des barrages dans les rives doit être fait alors sur une grande profondeur, pour qu'ils ne soient pas tournés ni détachés lors des crues. C'est l'un des motifs qui y ont fait renoncer pour l'amélioration de la navigation sur la Garonne au-dessus de Toulouse.

Ouvrages destinés à remédier au défaut de profondeur.

Lorsque le défaut de profondeur est l'obstacle principal à la navigation, et que la rivière présente un grand excédant de largeur, on a proposé son rétrécissement tantôt par des épis transversaux, saillants sur l'une ou l'autre rive, ou sur toutes les deux; tantôt par des digues longitudinales sur un ou deux rangs.

Dans les rivières divisées entre plusieurs bras, ces digues par économie, sont employées ordinairement à barrer l'un de ces bras à l'aval, ou à réunir plusieurs îles entre elles. Les figures 350 des planches représentent divers rétrécissements effectués ou projetés dans la Loire, à Orléans, à Chouzé, et près Nantes.

Figures 350 des planches.

Si ces épis ou digues étaient insubmersibles; il arriverait, dans les rivières sujettes à de fortes crues, ou que ces ouvrages seraient compromis, ou que l'écoulement des eaux ralenti, élèverait le plan d'eau et accroîtrait l'étendue et la durée des inondations en amont. De plus, si ces crues charriaient des troubles, il y aurait des atterrissements irréguliers à l'amont, qui pourraient faire perdre le bénéfice de la profondeur et modifier le thalweg. Enfin, si avec toutes ces circonstances, *le lit de la rivière de plus était attaquable*, il éprouverait des affouillements entre les digues, ou au droit des épis, et des atterrissements irréguliers à l'aval, qui feraient perdre encore la direction et la profondeur d'eau primitive dans ces dernières zônes.

Les levées insubmersibles de la Loire, celles du Rhin, par suite de la distance où elles ont été établies de la rive opposée, ne pouvaient avoir pour objet l'augmentation de profondeur dans les basses eaux, ni pour résultats les effets qu'on vient d'indiquer lors des crues. Leur véritable but a été le *dessèchement et l'exploitation* des terrains précédemment atteints par les crues extraordinaires.

Par suite des considérations précédentes, l'on s'est décidé à n'établir des épis ou des digues longitudinales de rétrécissement qu'à 50 à 60 c. au-dessus du niveau des basses eaux ou au niveau des eaux moyennes de navigation et à les rendre submersibles aux crues. M. l'Ingénieur Derrien a été d'avis que ce n'était pas sur le lit à l'étiage mais bien sur le lit plus large des eaux moyennes qu'il fallait opérer pour éviter des perturbations continuelles dans le régime.

On se prive à la vérité de cette manière d'une grande partie de l'approfondissement par *corrosion* du lit rétréci, toutes les fois que le fond est susceptible d'être corrodé. L'on réduit aussi l'augmentation de profondeur *possible*, à celle qui doit compenser la moindre largeur dans les basses eaux.

Les digues longitudinales submersibles paraissent d'ailleurs préférables en général aux épis transversaux. Ces derniers sont de véritables barrages avec ralentissement de vitesse et atterrissements en amont, si la rivière charrie des troubles; et de plus avec augmentation de vitesse et affouillement à l'aval si le fond est susceptible d'être corrodé. D'ailleurs ces épis donnent lieu, par la communication du mouvement latéral de l'eau, à des tournoiements et remous dans les intervalles qui séparent les épis de la même rive, et par suite à des corrosions sur les deux rives.

Aussi, sur beaucoup de rivières, et notamment sur le Clyde en Écosse,

après avoir établi d'abord des épis transversaux insubmersibles en pierres l'on a été forcé de réunir leurs têtes vers le thalweg par des digues longitudinales. Au reste, cette opération sur un fond de sable a eu un succès complet, puisqu'elle a procuré plus de 2ᵐ,13 de profondeur pour des navires de 150 tonneaux sur des points où de simples bateaux trouvaient à peine une profondeur d'eau suffisante.

Enfin les épis, pour être efficaces, devraient être très-saillants, et multipliés, au point que leur développement considérable serait aussi dispendieux que celui des digues longitudinales.

Il reste encore bien de l'incertitude sur la quantité du rétrécissement. M. l'Ingénieur Beaudemoulin, dans une note sur les digues submersibles, insérée aux *Annales des ponts et chaussées* de 1833 est arrivé, pour des rivières larges et peu profondes, aux résultats suivants fort simples et qui peuvent suffire dans la pratique : 1° les vitesses varient dans le rapport inverse de celui des racines cubiques des largeurs ; 2° les cubes des hauteurs sont en raison inverse des carrés des largeurs du lit.

On a projeté des rétrécissements à 90 mètres sur la grande Saône, vis à vis Trévoux, où il y avait 240 mètres de largeur; d'autres sont en exécution sur la Meuse, entre Sedan et la Belgique. Mais la portée de ce moyen, même avec le concours de draguages sur les hauts-fonds, même dans les rivières dont le fond est susceptible de corrosion, parait très-limitée. Ainsi, dans les travaux projetés pour l'amélioration de la navigation sur la Meuse, entre le canal des Ardennes et la frontière vers la Belgique, on n'espère par le concours ci-dessus obtenir qu'un tirant d'eau minimum de 1ᵐ,00, au lieu de la profondeur actuelle de 0ᵐ,60.

Aux Etats-Unis d'Amérique, on a pris pour base des rétrécissements dans des rivières où le fond était de rocher; que le produit de la largeur réduite par la profondeur d'eau *que l'on voulait obtenir*, devait être équivalent à celui de l'ancienne largeur par l'ancienne profondeur.

M. Beaudemoulin fait observer avec raison, que dans le tracé des digues il faut conserver autant que possible, le thalweg ancien, et le rejeter en cas de déplacement, sur les parties du lit susceptibles de corrosions.

L'augmentation de profondeur d'eau peut être obtenue également par les barrages transversaux déjà mentionnés ci-dessus comme correctifs des trop grandes vitesses; mais l'on a indiqué aussi les inconvénients que ce moyen pouvait présenter dans beaucoup de cas.

Si, comme dans la plupart de rivières, le défaut de profondeur et l'excé-

Ouvrages destinés à remédier à la fois au défaut de profondeur et à l'excédant de vitesse.

dant de vitesse se réunissaient dans un certain nombre de hauts-fonds ou *trematés*, ou barres séparées par des biefs profonds nombreux ou *rácles*, dans lesquels l'eau coule très-lentement; le moyen qui s'offre d'abord est de draguer des passes à travers ces hauts-fonds; mais il est probable que la rivière tendra constamment à les reformer; et de plus l'ouverture de ces passes fera baisser le niveau de l'eau dans les *rácles*, et rendra peut-être la profondeur insuffisante là où elle était surabondante. Aussi, en général, on n'a employé ou projeté ces draguages que sur 15 à 20 mètres de largeur, et comme auxiliaires *permanents des* rétrécissements par digues submersibles, dans les rivières de Garonne, Saône, Loire, Meuse et Midouze.

Ici, encore, des barrages transversaux submersibles ont été proposés pour opérer des modifications considérables dans la profondeur. Mais les digues submersibles longitudinales, par le grand débouché en *lit majeur* qu'elles offrent aux eaux ascendantes, semblent préférables aux barrages surtout dans les zônes inférieures des rivières où les dénivellations de la marée se font sentir. Là, en effet, il est essentiel de ne pas diminuer le volume des eaux ascendantes du flot, parce qu'au jusant elles forment avec les eaux de la rivière des chasses efficaces sur des alluvions molles et fraiches. Les digues submersibles concilient cette condition avec l'avantage de resserrer à basse mer le courant des chasses dans le chenal navigable.

La première idée de ces digues paraît avoir été émise par M. de Prony et par feu M. Sganzin, dans des rapports datés de 1806, restés encore manuscrits et relatifs à la restauration du port de Venise. L'importance du sujet motive ici l'insertion d'un extrait de ce rapport.

Venise est bâti, comme tout le monde le sait, au milieu d'une plage vaseuse découverte à toutes les basses mers et couverte à toutes les hautes mers. La dénivellation totale et régulière de la marée est d'environ 1^{m},60; l'action du vent, quand elle concourt avec le flot, détermine une élévation maximum de 60 centimètres au-dessus d'un plan fictif, dit le *commune*, lequel est de 1 mètre environ au-dessus des plus basses mers de sysigies.

Figures 351 des planches.

Les eaux de flot ou de la marée montante et celles de jusant ou de la marée descendante, qui se meuvent dans la baie de Venise, suivent une multitude de canaux parmi lesquels il y en a cinq principaux qui forment le lit, et en quelque sorte la continuation à la mer de cinq petites rivières, débouchant dans la baie de Venise. Ces canaux, dans la partie la plus pro-

fonde de la baie présentent la circonstance remarquable; que toutes leurs bouches à la mer sont tournées vers le sud-ouest, et sont barrées par des bancs de sable vaseux qui dévient le thalweg des canaux dans ce même sens. On a attribué cet effet à l'action combinée du courant littoral qui chemine dans l'Adriatique de l'est à l'ouest, et au vent régnant du sud-est dit *sirocco*, sur les sables de la côte, et sur les courants des flots et de jusant qui passent par les principaux canaux des lagunes.

Les canaux de communication qui auraient été les plus directs entre Venise et la pleine mer, n'offraient plus en 1806 que 3 à 4 mètres de profondeur d'eau; et les navires de guerre qui pratiquaient le port de Venise, étaient forcés de suivre le canal sinueux dit de *Malamocco*. Ce canal, à partir de Venise, se dirige presque parallèlement à la côte, et, après sa jonction avec deux autres, débouche dans la pleine mer par un passage très-sinueux dirigé est et ouest et qu'un banc de sable rejette de plus en plus vers la côte. Il s'agissait d'ouvrir une passe à travers ce banc, de curer le canal en question, et de prendre des dispositions telles que les atterrissements fussent plus lents à se former.

Une commission spéciale dont MM. de Prony et Sganzin étaient membres proposa : un curage extraordinaire; et deux jetées extérieures pour aider au creusement de la passe à travers le banc; mais elle indiqua de plus et comme ouvrage de réserve, l'établissement de digues *insubmersibles* à travers la plage des marais à l'ouest de Venise. Le but de ces digues était, tout en ne modifiant pas sensiblement le régime des courants de flot, de faire déboucher cependant au jusant un plus grand volume d'eau par le canal de *Malamocco*, qui devait rester affecté aux mouvements des navires. Après ce préliminaire, on présentera textuellement des extraits du rapport de la commission :

Moyens d'augmenter le volume des eaux dans la bouche de Malamocco par des digues en écharpe sur les *paludi*. Evaluation des ouvrages.

« L'eau emmenée par le flot dans les lagunes y pénètre, comme nous » l'avons dit précédemment, par cinq passes ou orifices; chacune de ces » passes fournit pendant un temps donné un certain volume d'eau qui se » répand dans un espace déterminé de l'intérieur des lagunes; et ces es- » paces qui sont ainsi respectivement remplis par l'eau affluente par » chaque orifice doivent demeurer invariables en grandeurs et en figures, » tant que le mouvement extérieur du flot, la grandeur des orifices, et » la forme des lagunes ou des récipients ne changent pas. Il doit donc » y avoir dans les lagunes des lignes de *séparation* entre les divers es- » paces sur lesquels se répand l'eau affluente des divers orifices; ce sont

» des *axes d'équilibre* entre les diverses masses d'eau introduites, et si des » flotteurs étaient placés sur ces axes ou à leur proximité, ils n'auraient » aucun mouvement de translation déterminé.

» Des phénomènes pareils ont lieu lors du reflux ou jusant; la masse » totale de l'eau, qui pendant l'*etale* s'est mise sensiblement de niveau, » se distribue lorsque la mer baisse, aux différentes passes, en sorte » que chacune de ces passes devient l'orifice de sortie de l'eau contenue » dans une certaine portion de la surface des lagunes. Si l'on supposait » une infinité de flotteurs distribués sur toute cette surface pendant l'étale, » on les verrait, dès que le jusant commencerait, se séparer en cinq di- » visions dont chacune se porterait vers une des passes; les flotteurs qui » se trouveraient sur les lignes de séparation des divisions, n'auraient » pas de mouvement de translation déterminé.

» Les lignes de division dont nous venons de parler, constituent, tant » pour le flot que pour le jusant, ce qu'on appelle les *parti acqua*; on peut » voir sur le plan ces lignes désignées par les lettres XX, YY; et éta- » blies d'après les meilleurs renseignements que nous avons pu nous » procurer. Mais nous avons observé, dans des lagunes memes, que » les *parti acqua* étaient non pas des lignes, mais des surfaces ou zônes, » sur la largeur desquelles il existait un équilibre ou une *indifférence* » de direction de l'eau facile à constater; de plus, nous ne pensons pas » que ces zônes ou leurs axes soient des lignes exactement droites, mais » qu'elles ont des courbures dependantes de diverses circonstances lo- » cales.

» Enfin, on concevra aisément avec un peu de réflexion, que les lignes » de *parti acqua* du flot ne doivent pas, en général, être les mêmes que » celles du jusant.

» L'entrée ou l'ascension de l'eau dans les lagunes est déterminée, » non seulement par la grandeur des passes ou orifices, mais par d'au- » tres circonstances qui tiennent exclusivement à l'état extérieur de la » mer; or, après l'étale et lorsque l'eau des lagunes devient prépondé- » rante, l'influence de ces circonstances n'a plus lieu, et il en existe de » nouvelles qui n'avaient pas agi sur le flot, qui modifient le mouve- » ment du fluide dans l'intérieur et à la sortie de ces lagunes, et dont » une des principales est la configuration du fond ou récipient qui con- » tient l'eau.

» Ce dernier phénomène est remarquable parce qu'il conduit à des

» conséquences très-importantes relativement aux ouvrages d'art que » nous proposerons dans la suite de ce mémoire comme moyens d'ap- » profondir la passe de Malamocco. En effet, dès qu'il est constaté » qu'une portion quelconque de l'eau que le flux fait entrer par une » passe peut être déterminée, en vertu d'obstacles intérieurs, à ne pas » sortir par la même passe, mais par une des passes voisines, il est évident » que lorsque la nature ne fournira pas de pareils obstacles, l'art pourra » y suppléer et augmenter ainsi la masse d'eau qui s'échappe par telle » ou telle passe, sans diminuer le volume total de celle que le flux » introduit dans les lagunes.

» Comme le succès des ouvrages extérieurs de la passe, relativement à » la coupure du banc de Malamocco, dépend de l'intensité du courant, » et par conséquent du plus grand volume d'eau, qui, pendant le ju- » sant s'écoulera par cette passe, il est nécessaire de déterminer la plus » grande masse qu'il sera possible, des eaux que le flot introduit dans » la lagune, à sortir par cette bouche.

» Les lignes nommées *acqua partita* ou *parti d'acqua*, qui forment, ainsi » qu'on l'a dit, la séparation des masses qui s'écoulent par les principales bou- » ches, sont placées sur les cartes, pour le port de Malamocco, l'une en » XX à l'est, entre Santo-Spirito et Santo-Clemente ; l'autre en YY à l'ouest » du côté de Chioggia.

» Il serait possible et à peu de frais de changer le régime de ces li- » gnes de *parti d'acquà* ou *acqua partita*, et d'augmenter le volume actuel » des eaux qui s'écoulent par Malamocco, en formant sur les *paludes* qui sé- » parent les canaux qui découvrent à mer basse, des digues insubmersibles » en fascinages OO, PP, QQ, RR et SS, TT, VV, vers Chioggia, élevées de » 5 pieds ($1^m,60$) au-dessus des basses mers, c'est-à-dire 2 pieds ($0^m,65$) au- » dessus du *commune*, et dirigées vers l'embouchure de Malamocco Ces di- » gues, disposées en écharpe, ainsi qu'il est indiqué au plan, et *séparées* les » *unes des autres*, laisseraient entre elles des intervalles ou bouches de » 150 toises (296 mètres) de largeur par lesquelles le flot qui entre par » les bouches voisines, et dont il est essentiel de ne pas troubler le régime, » pénétrerait dans la portion de l'ancien *acqua partita*, qu'on veut faire » tourner au profit de Malamocco : mais dès que le jusant se ferait sen- » tir, ces digues feraient fonctions *d'entonnoir*, et détermineraient toute » la masse des eaux qui serait comprise dans leur intervalle, à sortir par » la bouche de Malamocco, et augmenteraient considérablement l'inten-

» sité du courant : ces ouvrages seraient à peu près semblables à ceux » que, dans une même circonstance on a ingénieusement établis dans le » Zuiderzée. A l'embouchure de sortie de cette mer dans le détroit du » Texel, avant la construction des digues en entonnoir, le port du Helder n'avait qu'une profondeur d'eau insuffisante pour les vaisseaux ; à » peine ces ouvrages ont-ils été établis, que le courant augmenté a creusé » le port du Helder, qui n'est qu'un véritable chenal ; et aujourd'hui il » y a 25 et 30 pieds d'eau (8^{m}15 à 9^m,70).

» D'après le succès de cette expérience, dont le résultat est entièrement d'accord avec la théorie, on ne doute pas que ce moyen, employé dans la lagune, n'y produise le même effet. Il n'occasionnerait » pas une dépense considérable : la toise courante (1^m,97) de ces digues » en simple clayonnage, ne coûterait pas plus de 50 francs ; leur longueur totale est de 3000 toises (5,910 mètres), ainsi une somme de » 150,000 francs ferait face à cette dépense. »

On pourrait peut-être douter que les zônes d'eau comprises à haute mer, entre les lignes des digues XX, YY, et les *faîtes* primitifs des eaux dits *acqua partita* se remplissent d'eau au flot après l'établissement des digues, et par les intervalles de séparation de 150 toises (296 mètres) de largeur de chaque ligne de digues, aussi complétement et de la même manière qu'avant l'établissement de ces digues. Mais en admettant même qu'une partie de ces zônes eût été alimentée au flot par la bouche du *Malamocco*, il n'y en aurait pas moins eu au flot et au jusant, un plus grand volume d'eau s'écoulant par cette bouche dans un temps donné, et, par suite, la vitesse d'eau étant plus grande, eût été plus efficace pour entretenir ; 1° la profondeur des canaux intérieurs ; 2° celle de la passe nouvellement creusée à travers le banc extérieur de Malamocco et resserrée par les jetées extérieures projetées.

Des principes analogues ont déterminé, en 1816, l'administration des ponts et chaussées à abandonner sur les observations de M. Lamblardie fils, alors directeur des travaux maritimes au port militaire de Lorient, le projet de barrer par un pont éclusé la rivière du Scorff à l'amont du port militaire. Cette opération qui aurait eu pour objet le desséchement de lagunes vaseuses en amont de ce pont, aurait aussi déterminé à l'aval le comblement rapide du chenal du port militaire, en le privant, au jusant, du courant rapide des eaux aujourd'hui introduites par le flot dans

toute la vallée du Scorff, jusqu'à deux lieues en amont de l'emplacement du pont qui avait été projeté.

Les mêmes principes ont été opposés par M. Lamblardie fils, au projet de barrage de la Seine près du Havre, pour l'établissement d'un canal maritime du Havre à Paris. Enfin ils ont guidé récemment le tracé des digues submersibles de rétrécissement de la Loire en aval de Nantes.

En Angleterre l'Ingénieur Stevenson a opposé avec succès les mêmes principes à l'exécution d'un barrage éclusé, qui avait pour objet de soustraire à la submersion par les marées une étendue considérable de la vallée de Montrose en Ecosse. (Voir les voyages de la Grande-Bretagne de M. le baron Charle Dupin, *force commerciale*, tome 2, page 118.)

Ils peuvent se formuler ainsi qu'il suit:

Dans les zônes inférieures du cours des rivières où les marées se font sentir, les ouvrages d'art doivent être conçus de manière à ne réduire et ne modifier que le moins possible le volume et le régime de l'eau introduite au flot, et à augmenter le plus possible la partie du volume d'eau qui s'écoule au jusant par le chenal ou thalweg nécessaire à la navigation.

Ainsi, si une rivière se divise en plusieurs bras dont un seul soit utile à la navigation, on peut barrer tous les autres par des digues percées de nombreux aqueducs ou pertuis ouvrant au flot, mais fermant au jusant; en sorte que tout le volume d'eau entré dans les bras secondaires soit obligé de sortir par le bras principal. On peut même renoncer à ces aqueducs et faire remplir au flot les bras secondaires *par leur seule jonction en amont avec le courant principal.*

Si les digues étaient submersibles pour l'évacuation des crues extraordinaires, il conviendrait de les diriger dans les bras secondaires obliquement de l'amont à l'aval vers le bras principal, parce qu'alors malgré leur submersion à marée étale, elles détermineraient encore les eaux des bras secondaires à se porter de préférence vers le thalweg.

Enfin, on pourrait régler la hauteur du couronnement des digues submersibles, de telle façon qu'en temps ordinaire les eaux d'amont de la rivière ne les franchissent pas; mais que le flot déversât chaque jour par dessus, et remplit d'eau les bras secondaires pendant la marée montante précisément jusqu'au niveau des digues; alors au jusant ce volume d'eau épanché ne pourrait s'écouler que par la jonction amont des bras secondaires avec le bras principal. Les bras secondaires deviendraient en

quelque sorte alors des retenues de chasses, comme celles qui ont été établies pour approfondir l'*entrée des ports de mer.*

Ce qu'on vient de dire s'appliquerait facilement à une rivière très-large de débouché à la mer, telle que la Loire où le thalweg ne serait que dans une zône partielle de la largeur du lit.

Figures 352 des planches

Les figures 352 des planches représentent les endiguements submersibles en exécution depuis Nantes jusqu'à Paimbœuf, en aval. Conformément aux projets dressés par M. l'Ingénieur Lemière, la crête n'est placée qu'à 1 mètre moyennement au-dessus de la basse mer ordinaire de vives eaux, et elle est indiquée aux bateliers et navigateurs par deux ou trois balises.

Ces digues sont exécutées au reste en enrochements de gros moellons; et ces enrochements sont dirigés et soutenus par une ligne de pieux centrale, où les pieux sont espacés tantôt à raison d'un pieu pour 10 à 12 mètres de longueur, et tantôt pour 20 et 30 mètres.

Mode d'exécution des digues insubmersibles et submersibles.

Les digues submersibles transversales et longitudinales sont construites avec la nature de matériaux qui abonde et dont l'emploi est à *meilleur marché* dans la localité : le grand développement habituel de ces ouvrages, les avaries qu'ils ont à redouter, en excluent en effet les matériaux de prix. D'un autre côté il suffit qu'elles durent jusqu'à l'époque ou les atterrissements en aient *arrasé* le couronnement. Dans la Loire, en amont de Nantes, on en a exécuté en pierres perdues avec revêtissages en enrochements, formés avec les blocs les plus volumineux des extractions. Dans les travaux de rétrécissement du lit de la Midouze, décrits dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1831 et déjà mentionnés, on s'est servi de clayonnages avec un seul rang de piquets. Ces piquets,

Figures 330 des planches.

espacés de 50 en 50 centimètres, fichés de $1^m,30$ dans le terrain, dépassaient moyennement de $0^m,30$ le niveau des basses eaux. Les clayonnages étaient protégés par des échouages de jeunes arbres avec toutes leurs branches.

Aux États-Unis on a projeté sur l'Ohio et le Tennessée, des barrages de rétrécissement formés de deux rangées de pieux. Ces pieux équidistants dans chaque rangée sont enfoncés à la masse; des clayonnages sont entrelacés de l'un à l'autre. L'intervalle entre les deux rangées est rempli avec des cailloux ou autres matériaux qui se trouvent sous la main. Ces barrages ne dépassent pas d'ailleurs le niveau des eaux d'étiage.

Dans un projet de traversée de la Loire, dont les débats ont été insérés dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1832, et dont les dispositions définitives sont décrites dans l'ouvrage de M. le comte Pillet-Will, les

digues submersibles qui devaient être d'abord de simples jetées en moellons, et maintenues à leurs pieds, sur chacune de leur rive, par une file licruée de pieux, avec entre-toises d'une rive à l'autre, ont été exécutées en terrassements avec revêtissages en pérés, sur leurs talus, dans toute la hauteur immergée de l'étiage.

Les figures 353 des planches représentent divers genres de digues submersibles exécutées sur l'Yonne. Les tunages en fascines avec enrochements en saucissons et paniers de gravier en usage sur le Rhin, pourraient convenir également aux rivières de l'intérieur. Figures 353 des planches.

Le mémoire de M. l'Ingénieur Defontaine, déjà plusieurs fois cité, relate l'historique d'un ouvrage fort difficile de ce genre qui a été exécuté au Laemerich-Giesen, près Strasbourg, pour barrer un bras du Rhin attenant à la rive gauche. Les figures 354 des planches représentent la contexture de cet ouvrage. Un barrage sur le Rhin peut être décomposé en trois parties distinctes : Figures 354 des planches.

1° La partie centrale ou noyau qui est un barrage ordinaire, soit en claies superposées, soit en enrochements de paniers de gravier ;

2° Le recouvrement des zônes supérieures par des *nappes de tunages* qui ont pour objet de former comme un radier pour le passage des eaux des crues ;

3° Les enrochements supplémentaires en paniers de gravier à l'amont et à l'aval, destinés pendant le temps de l'exécution du barrage, à préserver des affouillements sa fondation sur le lit de sable et de gravier du Rhin.

Les travaux du barrage des bras de rivières sont exposés à des accidents graves, surtout lorsque le lit des rivières est affouillable, et qu'il s'agit de reporter le thalweg dans un autre bras. Si le barrage est commencé par les deux rives du bras, de manière à resserrer progressivement le courant ; ce dernier augmente de vitesse, corrode le fond, et forme une espèce de gouffre dans les zônes restées libres les dernières. Si, pour échapper à ce danger, on n'exécute point le barrage par tranches verticales, mais par couches horizontales superposées, et ayant toutes pour longueur la largeur du débouché à fermer, on détermine un gouflement superficiel des eaux, une sorte de cascade à l'aval, qui affouille alors sur toute la longueur de l'ouvrage en exécution. Ce dernier ordre d'exécution paraît toutefois préférable au précédent. Il est inutile de recommander, dans ce genre de travail, le choix de la saison des basses eaux, et la plus grande rapidité que possible d'exécution.

Enfin, de simples parois formées d'une ligne de pieux avec palplanches intercalaires verticales, ou avec bordages horizontaux cloués contre ces pieux sous l'eau, suffiraient dans les localités où il n'y aurait point à craindre les vers marins.

Figures 355 des planches.

Quel que soit le mode employé, un entretien continuel est indispensable. Il en est des rivières comme des routes; des soins assidus, une main-d'œuvre appliquée avec sagacité, surtout après les crues, sont indispensables; et l'on arrivera, tôt ou tard, à un système de cantonniers pour les rivières, analogue à celui qui a fini par s'établir sur toutes les voies de communication par terre. Déjà par les éclusiers il existe implicitement sur les canaux artificiels.

RÉSUMÉ DE LA VINGT-SIXIÈME LEÇON.

BARRAGES TRANSVERSAUX AUX RIVIÈRES. — BARRAGES AMOVIBLES. — ÉCLUSES A SAS. — CANAUX DE NAVIGATION LATÉRAUX AUX RIVIÈRES. — ÉCLUSES DE JONCTION A L'AMONT ET A L'AVAL.

Les barrages peuvent être continus à travers toute la section d'une rivière avec passe facultative par pertuis ou écluse, ou discontinus avec passe constamment ouverte. On appelle *biefs* ou *biez* les retenues d'eau séparées par les barrages.

Les barrages dans les mêmes circonstances que ci-dessus peuvent être fixes, ou amovibles sur toute ou partie de leur hauteur, et de manière à laisser, en cas d'amovibilité, un libre débouché soit aux eaux moyennes et à la navigation, soit seulement aux eaux des crues extraordinaires.

Les barrages discontinus avec passe constamment ouverte, sont de véritables rétrécissements par digues transversales, et ce qu'on a dit pour celles-ci leur est applicable. Les figures 356 des planches représentent un barrage de ce genre avec la palée de *guindage* pour remonter le pertuis.

Figures 356 des planches.

Les deux extrémités du barrage, formant culées des pertuis, doivent présenter en plan des formes évasées et arrondies aux angles, et être exécutées plus solidement que le reste de l'ouvrage. Le lit de la passe et du pertuis dans les terrains affouillables, devra être revêtu d'un radier

général en enrochements, ou en maçonnerie, et plate-forme en bois, et même en simple tunage. Ce radier se prolongera à l'aval d'une longueur égale au moins à la chute des eaux.

Les barrages continus ont pour objet de faire gonfler le niveau des eaux en amont, de manière à procurer une hauteur d'eau suffisante pour la navigation dans les circonstances, et sur les points où elle manque. Leur résultat est de diminuer la profondeur d'eau à l'aval, à cause de la grande vitesse acquise que la chute détermine dans les eaux. Les eaux gonflées déversent par-dessus le barrage sur une hauteur qui dépend de sa longueur; mais cette dernière dimension étant toujours beaucoup moindre que celle de la rivière, donne lieu à une vitesse et à une pente assez considérable à 200 et 300 mèt. en amont. Plus loin encore en amont, la section d'eau étant très-grande, la vitesse et la pente sont très-faibles, et la surface de l'eau finit par se raccorder avec la pente ordinaire des eaux. Ainsi on cite des barrages de 2^m,40 à 3 mèt. de hauteur, qui à l'étiage ont déterminé à 200 mèt. à l'amont une pente totale de 0^m,05 suivie, d'une autre pente totale seulement de 0^m,10 sur 1800 mèt. Barrages continus. Figures 357 des planches

La distance et la hauteur des barrages fixes et pleins sur toute leur hauteur, doivent être réglées non-seulement sur la profondeur d'eau à fournir à la navigation dans les basses eaux, mais encore sur celle d'évacuation des eaux des crues, de manière à éviter à l'amont des submersions plus étendues et plus prolongées qu'avant l'établissement des barrages.

Dans les rivières torrentielles on pourvoit ordinairement à cette dernière condition en réservant outre le pertuis *marinier* ou l'écluse de passage pour la navigation, des pertuis d'écoulement spéciaux et de fond, qui suivant les localités servent aussi au trajet des trains de bois flottés. Sur plusieurs rivières le barrage tout entier a été décomposé en pertuis. (Voir les articles sur les barrages de la Truchère et de Bellombre, dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1836.) Figures 358 des planches.

La question de l'amplitude et de la dénivellation du gonflement ou remou produit par un barrage déversoir a été étudiée par beaucoup d'auteurs, et notamment par Dubuat, par MM. de Prony, Navier, d'Aubuisson, Poncelet, Bidone, Bellanger, Genieys, Wauthier, Coriolis, Saint-Guilhem et autres Ingénieurs. On trouvera les résultats de leurs recherches dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1835, 1836 et 1837.

M. d'Aubuisson, par la comparaison des diverses formules avec des nivellements effectuées à l'amont de barrages établis en Allemagne, a été

conduit à préférer la formule de M. l'Ingénieur Saint-Guilhem, où la courbe du niveau surhaussé des eaux serait une branche d'hyperbole dont le sommet serait en amont du barrage *avant la chute des eaux*, et dont l'asymptote serait la ligne de pente moyenne des *eaux avant l'établissement du barrage.*

L'équation de cette courbe serait :

$$\left(\frac{y+px}{\text{H}}\right)^3-\frac{px}{\text{H}}=\frac{1}{1+\frac{4}{g}\text{H}\left(\frac{px}{\text{H}}\right)^4}.$$

où x est la distance horizontale en mètres d'un point de la courbe au barrage, y le gonflement de l'eau en mètres en ce point au-dessus du niveau primitif de l'eau, H le plus grand de ces exhaussements également en mètres en amont du barrage, p la pente par mètre du fond de la rivière supposé rectiligne. Dans la pratique, lorsqu'il n'y a pas de hauts-fonds intermédiaires, on établit ordinairement, par précaution, le barrage supérieur au point où le niveau du barrage inférieur prolongé rencontre la pente primitive qu'avait la surface de l'eau avant l'établissement de ce barrage.

La crête d'un barrage est aussi placée d'ordinaire à $0^m,20$ ou $0^m,30$ au-dessous du niveau calculé du gonflement maximum en amont. Au reste, la formule qui donne la distance d de la crête d'un déversoir à ce point de gonflement, est, en prenant 0,70 pour coefficient de contraction,

$$q=1,86ld\sqrt{d+0,08\text{V}^2};$$

où q est le volume d'eau par seconde, l la largeur du déversoir, d la distance cherchée, V la vitesse moyenne en amont (le mètre étant l'unité de mesure). Dans une note sur les expériences de M. Castel, insérée dans les *Annales des ponts et chaussées*, M. d'Aubuisson donne une préférence motivée à la formule plus simple,

$$q=m\,\frac{2}{3}\sqrt{2g}.lh\sqrt{h};$$

où m est le coefficient de contraction, h la différence de hauteur entre la crête du déversoir et la nappe d'eau presque stagnante qui se trouve ordinairement en amont d'un barrage, et près de l'angle de rencontre avec les rives.

D'après ce qui précède, on voit que, pour se procurer dans les basses eaux une profondeur d'eau suffisante, on peut, lorsque les rives sont très-encaissées, avoir à opter entre des barrages très-élevés, mais à grande distance, ou des barrages limités à une moindre hauteur, mais plus rapprochés. A raison des chances d'atterrissements, des lenteurs pour la navigation, de la dépense pour la manœuvre des pertuis ou écluses, la première combinaison aurait quelques avantages; mais elle expose aussi à des affouillements plus grands, et rend les passages plus difficiles pour les bateaux; de plus, les charges d'eau, croissant en raison des carrés des hauteurs d'eau; un barrage double de hauteur peut coûter quatre fois plus. On préfère donc généralement multiplier les barrages, et on ne dépasse guère pour eux la hauteur de 2 mètres; quand il n'y a pas de sas éclusé pour le passage des bateaux, on se borne même à 1 mètre ou 1^{m},30.

Il y aurait évidemment une exception à cette règle si le fond de la rivière, étant d'une mauvaise qualité sur une grande longueur, ne présentait que de loin en loin des parties résistantes pour l'assiette des barrages.

La position des barrages sur le lit des rivières peut être diverse. On préfère les points des rivières où il y a le plus de largeur; de plus, pour augmenter encore le débouché et diminuer la vitesse en amont, beaucoup de barrages déversoirs ont été placés obliquement au cours des eaux; mais les eaux, déversant toujours normalement à la direction du barrage, vont alors bricoler en aval sur les rives, et y déterminent des corrosions et des alluvions.

Figures 359 des planches

On obtiendrait un élargissement de section en disposant le barrage en plan, suivant un arc de cercle dont le sommet serait en amont. Sur le Doubs on a fait un barrage soustendu par un angle de 60 degrés : cette forme serait aussi plus favorable à la résistance, mais elle entraînerait une plus grande dépense d'appareil. On peut concilier la plus grande section avec l'économie, en disposant le barrage en chevron brisé. Cette combinaison, comme la circulaire, a l'inconvénient de resserrer le courant immédiatement à l'aval, et de provoquer des atterrissements vers les rives, où sont ordinairement les pertuis ou écluses de passage.

Figures 360 des planches.

Forme et mode de construction des déversoirs et barrages fixes.

L'expérience a démontré que la plupart des déversoirs avaient été emportés par des crues; soit à raison de la plus grande charge des eaux; soit plutôt de la grande force vive dont sont animées ces eaux, ainsi que les

débris et glaçons qu'elles entraînent; soit enfin par suite des affouillements du lit en aval, lorsque le fond est susceptible d'être corrodé. Quelquefois ces déversoirs ont été tournés par les crues à *leurs enracinements* dans des rives d'une résistance insuffisante. Le mode de construction des déversoirs doit donc varier suivant les localités, et réclame de grandes précautions.

On trouvera des faits nombreux et des études approfondies sur ce genre d'ouvrages dans un Mémoire sur la navigation de l'Isle, inséré, par M. Girard de Caudemberg, dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1835. Il résulte de ces faits : que si les barrages présentent une surface presque verticale à l'aval, il y a en dessus de la nappe d'eau, et par la réaction de la chute d'eau lors des crues, des tourbillons à axes horizontaux, et en dessous des tourbillons dont l'axe est vertical, qui non-seulement déterminent des affouillements si le sol n'est pas résistant, mais disloquent la paroi verticale du déversoir lorsque les crues emportent des glaçons, des arbres, des roches.

Figures 361 des planches.

Si la surface aval des déversoirs est un plan incliné plus ou moins allongé, il n'y a plus qu'un tourbillon horizontal, beaucoup moins violent, et qui ne peut avoir pour effet que d'affouiller le fond au-delà du plan incliné.

L'avantage des déversoirs à paroi verticale est d'éteindre par la chute toute la vitesse des eaux, et de diminuer leur agitation en aval vers les rives; de plus, leur épaisseur, qu'on fait ordinairement égale à leur hauteur, produit des économies relativement à la dépense d'un déversoir incliné. Toutefois cette économie disparait en grande partie si le fond est affouillable, parce que les risbermes en aval des déversoirs verticaux exigent beaucoup de longueur et de solidité.

Figures 362 des planches.

Le couronnement des déversoirs est ordinairement dressé en pente descendante de la crête vers l'amont, pour faciliter l'*afflux* des filets fluides vers le déversoir.

Mode d'exécution des déversoirs.

Le mode d'exécution des déversoirs dépend et de la nature du terrain, et des matériaux abondants dans chaque localité. Dans les contrées où le bois est à bon marché et où la pierre est très-rare, on a exécuté, particulièrement pour les usines, et en Angleterre sur la Tamise et aux États-Unis, des barrages en bois jusqu'à $4^m,70$ de hauteur, suivis à l'aval d'une plate-forme inclinée en madriers, clouée sur un grillage de traversines, et longrines, arrêté lui-même sur des pieux. Une ligne de pieux jointifs ou

Figures 363 des planches.

de palplanches termine ordinairement ce radier à l'aval. Il est quelquefois suivi d'un arrière-radier en fascinage ou en enrochements formés avec des paniers de graviers.

L'on avait exécuté sur le Blavet et *sur un fond de rocher* des déversoirs en plans inclinés, avec un noyau intérieur en terre et pérés à l'extérieur. Ils ont été emportés par les crues et remplacés subséquemment par des déversoirs verticaux avec parements en pierre de taille, du côté d'aval, sur le couronnement, et avec maçonneries de moellons à gradins du côté d'amont. Figures 364 des planches.

L'on a construit aussi des déversoirs à parements verticaux comme les batardeaux, avec coffrages en bois, formés de pieux et palplanches, remplis en moellons, bordés sur leur couronnement, et ayant une risberme à l'aval, exécutée dans le même mode. Figures 365 des planches

Enfin, l'on a établi des déversoirs avec talus vers l'aval, formés de grillages en bois sur pilotis, avec maçonneries intercalaires en moellons suivis d'une risberme, tantôt dans ce même système, tantôt en fascinages. Figures 366 des planches.

Dans la fixation des formes et dimensions d'un barrage, il faut surtout opposer une grande résistance dans le sens de la poussée ou de la *force vive de l'eau*, soit contre le glissement, soit contre le pirouettement, et bien enraciner en conséquence le fond et les rives. Cette dernière recommandation s'applique *à fortiori* aux barrages établis sur un terrain affouillable.

Dans le sens de la hauteur, il ne sera nécessaire d'exécuter avec beaucoup de solidité que les fondations ou les parties des barrages ou déversoirs sur lesquelles l'eau passera ou tombera, c'est-à-dire le couronnement et la paroi d'aval : du côté d'amont un simple épaulement en terre pourra être adossé aux maçonneries.

Le but même des déversoirs fera toujours préférer du reste pour eux le système d'exécution par des batardeaux insubmersibles et submersibles.

Ce qu'on a dit sur les fondations en général et sur celle des ponts, s'applique à celles des déversoirs. Toutefois, comme ils doivent retenir l'eau, il faut éviter, lorsque les déversoirs sont fondés sur grillage piloté, d'avoir des pièces de bois traversant l'épaisseur de l'ouvrage, dont la tête soit apparente en amont.

L'arrière-radier dit risberme doit être prolongé dans une longueur au moins triple de la hauteur du déversoir, quand la paroi aval de ce dernier sera verticale, et que le fond de la rivière ne sera pas du rocher. Il faudra surtout fortifier le point de la risberme que la chute rectiligne de l'eau vient attaquer. Une plate-forme élastique en fascinages

ou en madriers paraîtrait pour cette zône préférable à du pavage en maçonnerie même de gros libages, ou devrait au moins recouvrir ce pavage. Pour le reste de la risberme, des enrochements et des fascinages pourraient suffire. La tête aval de la risberme, toujours dans les mêmes hypothèses, serait arrêtée par une file de pieux en grume jointifs, ou de pieux équidistants avec palplanches intercalaires.

Barrages à pertuis. On a déjà dit que, pour prévenir les effets des barrages fixes sur les crues, on a, dans beaucoup de localités, décomposé tout ou partie de ces barrages, en pertuis, fermés dans les temps de sécheresse, et ouverts dans les temps de crues. M. de Régemorte paraît être un des premiers Ingénieurs qui aient employé ce système.

Les barrages présentent alors, comme les ponts, des piles en maçonnerie ou des palées en bois formant les rives des pertuis. Ce système est aussi plus favorable à la navigation que celui des barrages pleins, puisque, dans les temps d'abondance d'eaux, il permet de rétablir en partie le lit primitif, et que les piles ou palées restent seules.

Mais il a des inconvénients sous le rapport des difficultés et des dépenses de la maçonnerie; il exige dans les terrains affouillables des radiers intermédiaires aux piles ou palées, et même des arrière-radiers à l'aval; car les piles ou palées, quoique submersibles aux grandes crues quand *on n'a pas besoin de ponts de service*, n'en occasionnent pas moins des gonflements à l'amont et des cataractes vers l'aval.

La grandeur des pertuis est limitée par le mode de fermeture, qui lui-même est très-variable: il y a des pertuis depuis 4 jusqu'à 8 et même 15 mèt. d'ouverture, suivant les dimensions des bateaux, la violence des crues, etc.

On a employé pour la fermeture des pertuis, sur la Marne, sur l'Yonne et sur l'Aude, des planchettes verticales amovibles, appuyées par le bas contre une pièce fixe au niveau du radier, et dans le haut contre une pièce amovible, soit mobile autour d'un axe vertical, comme au pertuis de Maunoir sur l'Yonne; soit mobile de bas en haut, comme au pertuis de Bellombre, sur la même rivière. Ces pièces étaient même remplacées dans les anciens pertuis par une simple corde. (Voir la notice déjà citée sur les pertuis de Bellombre, dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1836.)

Figures 367 des planches.

On s'est servi aussi de poutrelles horizontales, superposées dans des rainures ou appuyées contre des feuillures, quelquefois élevées par des crics tenus sur des ponts de service, quelquefois retenues par un poteau *valet*

Figures 368 des planches.

susceptible de s'effacer par rabattement autour d'un axe horizontal ou vertical. (Voir la notice sur le barrage de la Truchère, dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1836.) Figures 369 des planches.

On pourrait appliquer à la fermeture des pertuis pour la passe des bateaux la combinaison ingénieuse de porte-vanne tournante employée sur les canaux de dessèchement et d'irrigation de Belgique, si elle n'exigeait un terre-plein très-large sur une des rives du pertuis. Elle est représentée fig. 36 des planches.

Quand les pertuis ne doivent pas servir à la navigation, on les a ouverts et fermés 1° par des vannes à l'aide de crics ou de vis, 2° par des clapets à axe horizontal à un ou plusieurs étages. Figures 370 des planches.

Un jeu unique de portes busquées vers l'amont a été essayé; mais pour les ouvrir contre le courant sans ouvrir auparavant leurs ventelles, il a fallu jusqu'à quinze ou vingt chevaux sur un seul ventail. D'ailleurs les portes busquées exigent des piles très-épaisses. Enfin, on a eu recours à des portes tournantes analogues à celles dont il sera question dans les écluses de chasse; mais alors la navigation est gênée, à moins qu'on n'emploie des moyens compliqués, et qui réclament une grande surépaisseur dans les piles. Figures 371 des planches

Tous ces procédés exigent beaucoup de temps et de dépenses, les uns pour l'ouverture, les autres pour la fermeture.

On a inventé des appareils de fermeture mus par les crues elles-mêmes; mais leur complication les rend faciles à se déranger, et d'une réparation difficile.

Les divers procédés qu'on vient d'indiquer, les uns spéciaux pour l'écoulement des eaux, les autres servant à la fois pour l'ouverture des pertuis et la navigation, sont souvent combinés dans le même barrage.

Il est évident, d'ailleurs, que, pour économiser les ponts de service, il est généralement avantageux de placer les simples pertuis d'écoulement d'eau à l'une des extrémités d'un barrage. La même considération d'économie les fait placer souvent à côté des écluses.

La largeur du débouché des pertuis pour l'écoulement des crues et pour le transit des bois en trains ou à bûches perdues, varie depuis 3 mètres jusqu'à 8 mètres dans les pertuis existants.

Leur radier est ordinairement placé au même niveau que celui du lit de la rivière en amont, et se raccorde en pente avec le lit en aval. De cette manière on peut faire usage des pertuis d'écoulement, même pour le

passage des bateaux. Le fond de ces pertuis, dans les terrains affouillables, doit être muni d'un radier et arrière-radier d'aval, comme il a étédit pour les passes constamment ouvertes.

Barrages fixes dans la partie inférieure, avec hausses amovibles dans le haut.

Le barrage entièrement plein, et le barrage à pertuis, comprennent une variété intermédiaire ; ce sont les barrages pleins dans la partie inférieure de leur hauteur, avec hausses amovibles dans leur partie supérieure lors des crues. Ces hausses, étant moins chargées par l'eau que dans les pertuis avec écoulement de fond, peuvent être plus légères, d'une manœuvre plus facile que les aiguilles, poutrelles et autres moyens de fermeture indiqués ci-dessus ; mais ce système ne tient pas, comme celui des pertuis, le débouché libre à la navigation dans le cas d'abondance d'eaux ; il exige cependant, comme ce dernier, des couronnements solides, et, comme celui des barrages entièrement fixes et pleins, des arrière-radiers pour empêcher les affouillements lorsque le fond n'est pas résistant.

Ce système est projeté pour l'amélioration de la navigation sur la Petite-Saône. La partie fixe s'élèvera tantôt à $0^m,50$, tantôt à $1^m,20$ au-dessus de l'étiage; et la partie mobile aura, dans les mêmes circonstances, $1^m,32$ à $0^m,40$ de hauteur. Les hausses mobiles, de $0^m,40$ à $0^m,80$ de hauteur, seront mobiles autour d'axes horizontaux. Lorsque l'eau s'élèvera à un niveau où la crue commencerait à être dangereuse, elle se précipitera dans des ouvertures pratiquées à ce niveau, et, par son propre poids, fera tourner les hausses : celles-ci après le passage des crues, seront relevées par les éclusiers.

Figures 372 des planches

Barrages amovibles sur toute leur hauteur.

Les entraves que les piles et palées des barrages à pertuis apportent à l'écoulement des eaux et au passage des bateaux dans les temps d'abondance d'eaux, ont fait rechercher à M. l'Ingénieur en chef Poirée, les moyens de faire disparaître à volonté le barrage tout entier, et de le rétablir par des manœuvres fort simples. L'essai de son système a réussi sur plusieurs rivières et notamment sur l'Yonne, et doit être appliqué sur la Saône, l'Aisne, et, sur une plus grande échelle encore, sur la Seine, au passage de la *morue*, en aval de Paris près Marly.

Figures 373 des planches.

Il consiste à remplacer les piles ou palées fixes par des tréteaux métalliques, liés les uns aux autres par des chaînes, et pouvant se rabattre transversalement à la rivière autour de leur base comme charnière. Cette base est un encaissement refouliée dans un radier général, de manière à ce que les tréteaux rabattus ne forment pas saillie dans le courant. Quand ces tréteaux sont debout, ils sont liés dans le haut par des tringles amo-

vibles en fer, et c'est contre ces tringles et un seuil fixé dans le radier qu'on applique des *aiguilles*, *fermettes* ou *palettes* verticales en bois de $0^m,10$ à $0^m,12$ de largeur, analogues à celles dont il a été parlé ci-dessus, et que l'eau elle-même fait appuyer contre les tringles et le seuil. La distance des tréteaux est évidemment égale à leur hauteur, plus le jeu nécessaire; elle peut varier de $1^m,60$ à 2 mèt., et même aller jusqu'à 3 mèt. Dans ce système, comme dans celui des pertuis à piles ou palées fixes, on peut à volonté fermer ou ouvrir une partie ou la totalité des pertuis pour le passage des eaux ou des bateaux.

On pourrait craindre que des alluvions ou des corps charriés par les crues, ne rendissent quelquefois difficile la manœuvre des tréteaux; mais on sera rassuré contre ces effets en réfléchissant : que rien ne tendra à arrêter ces alluvions, puisque la rivière sera rendue à son débouché naturel, dans les temps d'abondance d'eau et de grande vitesse.

M. l'Ingénieur Poirée évalue les dépenses d'établissement de ce genre de barrages amovibles à 1000 fr. au plus par mètre courant, tout compris, et pour un tirant d'eau navigable de $1^m,50$.

Quel que soit le système de barrage des eaux à l'étiage, il est nécessaire de lui annexer un passage pour la navigation. On a donné à ces passages le nom de *passelière*, *portière*, *pertuis* et d'*écluse*, suivant leur système de fermeture. Ils se nomment *écluse à sas* lorsque la chute d'eau est rachetée, comme dans les canaux de navigation à eaux stagnantes. Passages pour la navigation.

Les largeurs de ces passages dépendent de celles maximum des bateaux; et la longueur et la largeur du sas dans les écluses à sas dépendent aussi des dimensions des bateaux et du nombre qu'on en veut faire monter ou descendre *simultanément*. Les passelières et portières sont des pertuis analogues à ceux qui ont été décrits ci-dessus, fermés semblablement, mais dont les bajoyers sont beaucoup plus allongés vers l'aval, afin de guider les bateaux et surtout de rendre plus douce la pente curviligne à double courbure de raccordement des eaux d'amont avec celles d'aval. Passelières, pertuis.

Pour atténuer encore cette pente, on ouvre le pertuis un quart d'heure ou une demi-heure avant le passage des bateaux montants ou descendants, bien qu'il en résulte souvent un abaissement d'eau fâcheux dans le bief en amont. On a conseillé de donner une inégale longueur aux bajoyers vers l'aval, afin de diminuer le bouillonnement et le bourrelet d'eau qui se forme à la jonction de l'eau *du passage* avec celle qui tombe par-dessus le barrage. Figures 3;4 des planches.

La construction du radier des passelières présente des difficultés; si on le prolonge beaucoup et en ligne droite descendante, il est à craindre que le bateau, dans ses oscillations, ne vienne le frapper; si on le fait très-court, il peut en résulter des affouillements graves vers l'aval, lorsque le fond n'est pas résistant.

La manœuvre du passage s'opère par le touage, à l'aide de cordes ou de chaînes, tantôt tirées sur le bateau, tantôt à terre; il est avantageux par suite que la passelière soit située, autant que possible, près des rives et non au milieu d'un barrage.

Le mode d'ouverture des pertuis doit être aussi rapide que possible, afin que le bateau ne soit pas exposé à rester dans un bief trop appauvri; et puisse en quelque sorte traverser la passelière en même temps que l'eau qu'on fait écouler au préalable pour diminuer la chute. Les bajoyers des passelières n'ont besoin au reste d'être imperméables que près des fermetures, et pourraient, sous ce rapport, n'être que des murs en maçonnerie de pierres sèches à gros blocs, et même de simples talus revêtus de pérés : on peut les exécuter aussi en bois comme les coursiers de moulins. Toutefois, à raison des chocs des bateaux, il paraîtrait convenable de construire ces bajoyers en maçonnerie de mortier, avec un masque amovible en bois. Dans tous les cas, ils ont besoin d'être fondés très-bas dans les terrains affouillables.

Les incommodités que présentent les passelières, surtout pour les bateaux, leur ont fait préférer, pour les navigations importantes, les écluses à sas analogues à celles dont il sera question pour les canaux de navigation.

C'est ici le lieu de décrire les sas.

Ecluses à sas. Les sas sont de véritables appareils *mécaniques* pour faire monter ou descendre des corps au moyen de l'eau. Un sas est un bassin clos d'une étendue superficielle très-variable, qui peut à volonté communiquer par des passages, tantôt ouverts et tantôt fermés, avec deux autres bassins ou biefs dont les niveaux d'eau sont différents. Le radier d'un sas correspond à celui du bassin ou bief inférieur; son couronnement, à celui du bassin ou bief supérieur. La communication du sas avec le bassin ou bief supérieur exige que le premier soit rempli d'eau au préalable, presque jusqu'au niveau de l'eau de ce bassin : ce remplissage peut se faire avec l'eau de ce dernier ou *avec toute autre disponible.* La communication du sas avec le bassin ou bief inférieur exige qu'au préalable ce sas, s'il est plein

d'eau, soit vidé jusqu'à ce qu'il y ait équilibre avec l'eau du bassin ou bief inférieur : l'évacuation peut se faire dans le bief inférieur, *ou par toute autre issue.* On indique ici comme exemple une écluse projetée par M. Goury aîné, sur la rivière canalisée de Rance en Bretagne. Figures 375 des planches.

On voit que les écluses à sas sont assimilables, aux biefs des rivières séparés les uns des autres par des barrages transversaux avec pertuis. Dans ce dernier système, le raccordement des niveaux d'eau de l'amont à l'aval s'opère par une espèce de cascade d'eau, et les bateaux passent en *même temps que l'eau;* tandis que dans les écluses à sas l'eau passe d'abord, et le bateau ensuite. De plus, le sas est un bief restreint au minimum de surface, et dépensant ainsi le minimum d'eau pour la traversée d'un bateau.

Les écluses à sas peuvent être placées soit dans le lit de la rivière, soit dans une courte dérivation ouverte de l'amont à l'aval sur une des rives. Quand une rivière se divise en plusieurs bras, le barrage principal est ordinairement établi à la tête de l'un des bras, et l'écluse à l'extrémité aval de l'autre, en sorte que le bras à l'amont de l'écluse sert de gare de stationnement pour la navigation. Gauthey avait proposé de placer un bassin, avec la destination de sas, sur une des rives, de manière qu'il pût communiquer par des portes d'amont avec le bief supérieur, et par des portes d'aval avec le bief inférieur : ces portes étaient toutes deux placées dans l'alignement de la rive. Mais cette disposition force les bateaux de se présenter en travers du courant pour entrer et sortir, en montant et en descendant, et les expose à se jeter contre le barrage. Le bassin proposé par Gauthey aurait d'ailleurs besoin d'une largeur au moins double de celle des bateaux, pour qu'ils pussent effectuer leurs évolutions d'entrée et de sortie. Figures 376 des planches.

On préfère construire les écluses sur une dérivation; parce que d'abord on peut les exécuter plus facilement et sans bâtardeaux; que par cette disposition les bateaux sont soustraits à l'agitation des eaux en amont et en aval du barrage, et qu'enfin les abords de l'écluse sont moins sujets à être engravés ou obstrués lors des crues et des débâcles. On les place toujours d'ailleurs à l'aval de la dérivation et avant sa jonction avec le bief inférieur, par un motif d'économie dans la construction de cet ouvrage et dans le creusement de la dérivation. La dérivation devient alors une sorte de gare de stationnement, surtout si l'on établit des *portes de garde* à l'entrée amont.

Si l'encaissement de la rivière force de placer l'écluse dans son lit, on a soin de l'établir à l'une des extrémités du barrage, sur l'une des rives, qui forme alors bajoyer; l'autre bajoyer s'allonge au delà du barrage vers l'amont ou vers l'aval. Par cette dernière disposition on soustrait le bajoyer à la charge d'eau du bief supérieur, et les bateaux à leur montée et descente sont mieux isolés des tourbillons d'eau à l'aval du barrage.

Figures 377 des planches.

Écluses à sas submersibles et insubmersibles.

Une des questions graves de construction qui se présentent dans le système de barrages avec écluses, c'est la submersibilité ou l'insubmersibilité de ces dernières lors des crues. M. Girard de Caudemberg, dans la notice déjà citée sur la navigation de l'Isle, a décrit les fâcheux accidents que les crues de la rivière d'Isle avaient produits sur les écluses avec terre-pleins *submersibles*. D'un autre côté, il est difficile, lorsque les crues s'élèvent à plus de 3 ou 4 mètres au-dessus des hautes eaux, de porter à cette élévation les couronnements des écluses, sans interrompre les chaussées de halage par des rampes et descentes très-coûteuses et très-difficiles, et sans donner aux fermetures des écluses des dimensions démesurées. D'ailleurs, dans la question dont il s'agit, la navigation est désintéressée, car elle est interrompue de fait par les crues extraordinaires.

Si les écluses sont *insubmersibles*, il est avantageux, pour rendre la manœuvre des portes tournantes plus facile, en temps ordinaire (quand ce mode de fermeture est adopté) de décomposer au moins celles d'aval en deux sur leur hauteur, ainsi qu'on l'a fait à l'écluse de prise d'eau du canal de Beaucaire : alors les vantaux supérieurs viennent dans le bas s'appuyer contre le haut des vantaux inférieurs.

Figures 378 des planches.

Quand les écluses doivent être *submersibles*, il est essentiel que leurs terre-pleins soient en pavages maçonnés sur une aire en béton; les pérés des rives aux abords à l'amont ou l'aval doivent aussi être exécutés avec beaucoup de soin ; enfin les fermetures doivent être enlevées ou au moins tenues ouvertes, afin d'éviter par-dessus celles d'amont, des chutes d'eau qui dégraderaient l'intérieur du sas.

Fermetures des écluses.

Les fermetures d'écluses sur des rivières torrentielles qui charrient des graviers et galets, ne peuvent guère être *tournantes* comme dans les écluses des canaux de navigation ; et alors on leur préfère, au moins à l'amont du sas, l'un des moyens indiqués pour les pertuis, et notamment celui des poutrelles superposées.

Sauf ce cas, on emploie deux jeux de portes busquées avec ventelles

l'un à l'amont, l'autre à l'aval, comme celles qui seront mentionnées plus bas pour écluses de canaux de navigation. Mais *même alors* on ménage, à l'amont et l'aval, soit des rainures, soit des feuillures pour établir des poutrelles de fermeture, tant pour remplacer les portes en cas d'accidents, et faciliter leur montage et démontage, que pour produire des chasses dans l'écluse, après en avoir ouvert les portes.

Une écluse à sas annexée à un barrage en rivière ne manquant presque jamais d'eau pour l'opération du sassement, c'est-à-dire pour élever le niveau des eaux entre les deux jeux de fermetures d'amont et d'aval au niveau des eaux d'amont; le sas ou l'intervalle entre ces fermetures ne requerrait pas la même imperméabilité que dans les écluses des canaux à navigation, et pourrait être une simple tranchée trapézoïdale revêtue en pierres, s'il n'y avait pas à tenir compte aussi des pertes de temps que la navigation éprouve dans le passage des écluses, et s'il ne fallait pas les réduire au minimun. Cette dernière considération peut aussi dans beaucoup de cas être opposée, conjointement avec l'augmentation de dépense de construction et d'entretien, à toute extension dans les largeurs et longueurs de sas qui aurait pour objet de faire monter ou descendre simultanément plusieurs bateaux. Sas des écluses.

Il sera préférable généralement sur les cours d'eau où la navigation est extrêmement active, soit dans le sens ascendant, soit dans le sens descendant, ou dans tous les deux à la fois, de multiplier les écluses, en les juxta-posant autant que possible et en leur donnant un bajoyer commun deux à deux. Si les navires et embarcations sont de de mêmes grandeur et type, les écluses multiples auront les mêmes formes et dimensions. Si ces navires appartenaient à diverses catégories de grandeurs, on leur affecterait, suivant l'importance de ces catégories, une ou deux écluses spéciales.

Il pourrait arriver que le variété des grandeurs et types se présentât dans une navigation *du reste peu active*. On y pourvoirait alors en allongeant simplement le sas et en le munissant outre les portes extrêmes, d'une paire de portes intermédiaires busquées comme celles d'aval. L'intervalle entre les portes extrêmes, servirait pour les bâtiments et bateaux de grand échantillon; l'intervalle entre les portes d'amont et les portes intermédiaires, pour les bâtiments de petit échantillon.

L'utilité des chasses pour nettoyer les écluses placées sur une dérivation, a fait penser qu'il serait préférable de dresser le plat-fond de cette

dérivation sur une seule pente d'environ 6 de base pour 1 de hauteur depuis l'amont jusqu'à l'aval, sauf une petite zône horizontale à l'amont des fermetures d'amont; ces dernières auraient ainsi à peu près les mêmes dimensions que les fermetures d'aval. On gagnerait en outre par cette disposition plus de longueur pour les bateaux entre les deux jeux de fermetures d'amont et d'aval, puisque dans les écluses de navigation ordinaires, ainsi qu'on le verra plus bas, le mur de chute, qui se trouve en aval des fermetures d'amont, est une limite à la longueur des bateaux. Toutefois, la suppression de ce mur de chute soumet les fermetures et bajoyers d'amont à une charge d'eau permanente plus considérable de toute la hauteur de ce mur, et les rend aussi lourdes à manœuvrer habituellement, que celles d'aval. On a pris au canal latéral de la Loire un moyen terme, c'est-à-dire qu'on a laissé subsister une partie du mur de chute. Aux États-Unis on a établi à travers le plan incliné et à peu près au milieu de sa longueur, une *herse* pour retenir les herbes et les corps flottants, qui sans cela viendraient embarrasser les vantaux des portes.

Figures 379 des planches.

Figures 380 des planches.

Mode d'exécution des écluses.

Les écluses à sas en rivière, comme les déversoirs, les pertuis d'écoulement ou de flottage, peuvent facilement être exécutés dans la saison des basses eaux avec des bâtardeaux de faible hauteur; parce que l'on commence généralement l'ensemble du travail par l'exécution des pertuis, et qu'alors les eaux s'écoulent par là, pendant qu'on exécute l'écluse. Les fondations de cette dernière doivent être enracinées d'au moins 70 centimètres à 80 centimètres dans le lit de la rivière, même lorsqu'il serait non affouillable, et doivent présenter comme une espèce de *tenon* aux deux têtes, particulièrement à celle de l'amont.

Si le terrain est affouillable, il faudra un avant-radier et un arrière-radier comme pour les pertuis. Enfin si l'écluse doit être établie sur un pilotis, il y aura à prendre les précautions indiquées déjà pour les déversoirs. Mais de plus pour les écluses, il faut considérer que le radier du sas tend à se soulever par l'action de la charge d'eau en amont; et y proportionner en conséquence les dimensions d'épaisseur de ce radier. Quand on se décide à exécuter ce radier en maçonnerie de pierres de taille, il ne faut pas hésiter non plus à appareiller celle-ci en voûte renversée.

On trouvera plus de détails sur les écluses et leurs fermetures dans les leçons ultérieures relatives aux canaux à points de partage.

Canaux de navigation latéraux aux rivières.

Tout ce qui précède prouve combien les améliorations d'une navigation dans le lit même des rivières rencontrent de difficultés, et comment l'on a été conduit à leur préférer souvent l'établissement d'un canal latéral, dont la construction, du moins dans les parties intermédiaires aux points extrêmes, est généralement beaucoup plus facile.

Les canaux de navigation latéraux aux rivières avec écluses à sas, peuvent être en biefs avec pente ou courant d'eau vive, ou bien à biefs de niveau et eaux stagnantes comme celles *d'un fossé*.

La première catégorie comprend toutes les dérivations qui ont pour objet de servir à la navigation et à la fois à la conduite d'eaux d'alimentation, d'irrigation, d'usines et autres. Ce sont de véritables rivières artificielles. On peut y ranger aussi quelques dérivations, comme celle du canal de l'Ourcq, où la navigation descendante a une importance tout à fait prédominante relativement à la navigation ascendante. Dans cette hypothèse, il y aura évidemment économie, dans le nombre des écluses, à préférer les canaux *à pente*, à moins toutefois que des circonstances de terrains ne forcent, sur une partie de l'alignement de la dérivation descendante, de remonter pour redescendre; circonstance qui obligerait d'ailleurs, *avant la montée*, de se débarrasser du volume d'eau débité par la dérivation.

Les formules de M. de Prony déjà plusieurs fois citées,

$$V = ulh. \qquad u = -0{,}07 \pm \sqrt{0{,}005 + 323 \frac{ilh}{l+h}},$$

où l est la largeur moyenne en mètres, h la profondeur en mètres, i la pente par mètre, u la vitesse moyenne en mètres par seconde, V le volume d'eau en mètres cubes débité par seconde, doivent être employées pour les canaux à pente. Au canal de l'Ourcq on avait, par une analogie malheureuse avec les rivières, disposé le fond du canal dans le sens de sa longueur en une sorte de chaînette ou plutôt de polygone funiculaire; au lieu de n'avoir qu'une seule pente entre les points extrêmes. Il en est résulté, comme dans les rivières, insuffisance de hauteur d'eau et corrosions par excès de vitesse dans les zônes en amont, et surabondance de hauteur d'eau et at-

térissements dans les zônes inférieures; et ces faits ont vérifié en quelque sorte les formules précédentes.

Même dans les canaux de dérivation où la navigation serait ascendante et descendante à peu près au même degré d'importance, l'on a projeté généralement une faible pente dans les biefs (de 0m,05 par kilomètre sur le canal latéral de la Garonne), pour leur faire remplir à eux-mêmes les fonctions de rigoles *d'alimentation* du canal de dérivation, et pour trouver ainsi une compensation aux pertes d'eau par sassements, évaporations et filtrations, et à la fois une force motrice pour les usines qui seraient accollées à la dérivation. Cette dernière considération n'est pas sans importance, car à ce même canal latéral de la Garonne on aura ainsi une chute d'eau de 2m,60 à chaque écluse.

Le cours permanent des eaux de l'amont à l'aval de chaque écluse, dans les canaux à pente, pourrait s'établir en les faisant déverser par-dessus les fermetures amovibles des écluses, ou en laissant constamment ouvertes à un degré convenable les ventelles ordinairement pratiquées dans ces fermetures. Mais il résulterait de là un courant incommode lors du passage des bateaux dans les écluses, et une cause permanente de dégradation du radier de celles-ci. On préfère établir des aqueducs de conduite d'eau, qui contournent extérieurement l'écluse à sas sur l'une des rives, et dont on peut même se servir comme de coursiers pour des usines mues par le courant d'eau.

Figures 381 des planches

Les canaux de dérivation latéraux aux rivières sont du reste exécutés suivant les mêmes principes, données et formes que les canaux de navigation artificielle, ou de jonction entre deux rivières, ou d'une rivière avec des lacs ou la mer, dont il sera question plus bas : on ne parlera ci-dessous que de quelques ouvrages plus spéciaux aux canaux latéraux.

Prises d'eau.

La prise d'eau ou communication du canal latéral avec la rivière à laquelle il se rattache, exige des études approfondies, pour donner toutes les facilités désirables dans la manœuvre des bateaux, avoir une profondeur d'eau suffisante, être à l'abri des crues et surtout des atterrissements, et pour se débarrasser de ces derniers s'ils sont inévitables.

A l'occasion de l'écluse de prise d'eau du canal de Beaucaire, dans le Rhône, il avait été reconnu que la disposition la plus convenable était de diriger l'entrée de la dérivation de l'amont à l'aval, suivant un angle très-aigu avec le fil de l'eau; sauf à raccorder cette direction avec l'ali-

Figures 382 des planches

gnement du canal, soit par des courbes, soit par un grand bassin placé à l'intersection. Ce dernier sert alors à la fois de gare de stationnement indispensable pour des fleuves sujets à des crues et débâcles. On trouvera tous les détails nécessaires sur cette écluse, dans une notice de M. l'Ingénieur en chef Grangent, insérée aux *Annales des ponts et chaussées* de 1832 : le bassin de stationnement y est placé en amont de l'écluse, dont le sas est *curviligne* en plan.

Si, au point où l'on établit la prise d'eau, il n'y a point à l'étiage une profondeur d'eau dans la rivière, on est forcé de barrer cette rivière à l'aval; mais il peut en résulter, dans les rivières qui charrient des troubles, des atterrissements tels, qu'on perdrait tout le bénéfice du gonflement d'eau. De là : 1° la nécessité de se procurer dans ce cas un excédant de profondeur d'eau; 2° d'enlever les alluvions par des châsses faites à l'origine de la dérivation. On a rempli cette condition à l'écluse de Beaucaire, déjà citée, en réservant dans toute la longueur des bajoyers, et entre la tête de l'écluse et le Rhône, des rainures équidistantes de 3 mètres, dans lesquelles on peut engager des poutrelles formant retenue d'eau. Celle-ci s'écoule sur le fond sous une tranche de 20 centimètres de hauteur. Figures 382 des planches.

Les prises d'eau doivent être insubmersibles dans les crues, afin d'éviter les dégradations que causerait l'épanchement des crues, et aussi pour que celles-ci n'obstruent pas le canal de dérivation par leurs alluvions. Mais pour éviter habituellement la manœuvre de portes très-lourdes, on a décomposé ces portes à Beaucaire en deux parties sur leur hauteur, dans le système déjà indiqué précédemment. Figures 382 des planches.

Il y a des écluses de prise d'eau disposées, relativement aux rivières sujettes à des crues, de telle manière que tantôt les eaux du premier bief après l'écluse sont plus hautes, tantôt plus basses que celles de la rivière. Il faut alors à chacune des deux têtes de l'écluse deux jeux de portes busquées en sens contraire, quand ce mode de fermeture est préféré.

Jonction aval d'un canal de dérivation.

Un canal de dérivation latéral à une rivière rentre en aval dans cette rivière, ou bien débouche séparément dans des eaux où celle-ci aboutit. On prend ce dernier parti (comme pour le canal latéral au Rhône, d'Arles à Bouc) toutes les fois que le confluent ou l'embouchure de la rivière est obstrué par des alluvions fixes ou des barres mobiles. On avait aussi projeté un débouché spécial pour le canal latéral à la Basse-Seine, entre Villequier et le Hâvre (voir le Mémoire de M. Lamblardie père sur l'établissement de ce canal).

Soit que le canal débouche dans la rivière ou à la mer, il est essentiel : 1° de le diriger de l'amont vers l'aval pour faciliter les mouvements d'entrée et de sortie des bateaux, et éviter les atterrissements venant de l'amont; 2° d'avoir une profondeur d'eau suffisante en tout temps; 3° de pouvoir établir des chasses comme dans l'écluse de prise d'eau; 4° que le dernier bief soit assez long et assez large pour servir en même temps de gare d'attente et de stationnement, et qu'il soit accessible habituellement, s'il est possible, sans sassement dans l'écluse de jonction. Au reste, ces gares ou bassins sont utiles dans toute l'étendue d'un canal latéral très-fréquenté. Ainsi, sur le canal latéral du Mississipi et celui de Pont-Chartrain, on a projeté sur la longueur totale de 8102 mètres, quatorze gares à 805 centimètres de distance sur chaque côté de 1625 mètres, quarrés de surface chacune; et de plus trois bassins dont deux aux têtes du canal, et un au milieu de sa longueur, ayant, les deux premiers 12122 mètres quarrés et 5665 mètres quarrés de surface, et le troisième 6038 mètres quarrés.

Si les crues de la rivière ou les dénivellations de la marée s'élèvent beaucoup au-dessus du niveau permanent des eaux dans le dernier bief, on aura à étudier s'il convient de rendre ce bief submersible ou insubmersible, et dans le second cas d'y admettre ou non les eaux des crues ou des hautes marées : pour la négative, il faudrait des portes spéciales de flot opposées aux crues ou à la mer. Les figures 383 des planches représentent la jonction avec la Loire du canal latéral à la Loire, et de celui de Briare. Celles 384 qui les suivent représentent la jonction avec la Medway du canal de ce nom, en Angleterre.

Figures 383 des planches

Figures 384 des planches

Jonctions avec la mer

La périodicité et la régularité des dénivellations de la marée dans les ports de l'Océan, donnent lieu à des dispositions spéciales pour les débouchés des canaux. La grandeur de ces dénivellations, qui à basse mer laissent presque toujours à sec une grande étendue du littoral, s'oppose souvent à ce qu'on place en contre-bas du niveau de basse mer le plafond de la jonction du canal. On l'établit alors à *ce niveau* ou même au-dessus, mais de manière qu'à chaque marée montante il y ait encore une profondeur d'eau au moins suffisante pendant un certain laps de temps, et dont le niveau soit en équilibre avec celui de l'eau dans le bief pour l'ouverture des portes et le passage des bateaux.

Pour rendre la manœuvre des bateaux plus facile et éviter la force des courants de flot et de jusant, on prend ordinairement pour base le niveau

qu'atteignent les moindres hautes mers de mortes eaux (quartiers de lune). On évite ainsi l'opération longue du sassement; mais, d'un autre côté, on force les bateaux d'attendre pendant six heures, et l'on risque d'altérer le dernier bief de jonction par les alluvions dont sera généralement chargée la mer qu'on laissera entrer dans ce bief. Ces considérations font quelquefois préférer le système d'écluse à sas à double chute.

La question des grands sas, qui admettent simultanément plusieurs bateaux, se représente pour les écluses de prise d'eau et de jonction avec plus d'avantage que dans la navigation ordinaire; car ici l'eau ne manque pas; et les biefs de prise d'eau et de jonction servant d'attente et de stationnement, on aura toujours plusieurs bateaux à faire passer à la fois, et l'on n'encourra pas l'objection faite aux grands sas, de dépenser autant de temps et d'eau pour le passage d'un seul bateau que pour celui de plusieurs. Le temps du remplissage d'un grand sas étant plus long que celui d'un petit, peut compenser toutefois l'économie de temps que procurerait le passage simultané de plusieurs bateaux. Mais cette considération doit céder devant un autre avantage des grands sas, qui est de se prêter également au passage d'un seul grand bateau ou de plusieurs petits.

Les figures 385 des planches représentent les écluses à grand sas et à petit sas d'Ostende. Figures 385 des planches.

On trouvera du reste des exemples des diverses solutions qui peuvent se présenter pour les prises d'eau et jonctions, dans les rapports sur le canal latéral à la Garonne et au canal latéral à la Loire, insérés aux *Annales des ponts et chaussées* de 1832. Relativement à ce dernier canal, on fera bien aussi de lire l'ouvrage de M. le comte Pillet-Will, intitulé *De la dépense et des produits des canaux et des chemins de fer.*

Les figures 386 des planches représentent les plans topographiques de ces deux canaux, de ceux de Saint-Martin et Saint-Denis, qu'on peut considérer comme latéraux à la Seine; enfin de ceux du canal latéral de la rivière de Tennessée aux États-Unis. Figures 386 des planches

On renvoie, pour les détails des formes, dimensions et du mode de construction des écluses à sas et des divers ouvrages d'un canal latéral, à ce qui sera dit ultérieurement pour les canaux de navigation artificielle à biefs de niveau et eaux stagnantes.

Tracé des canaux latéraux aux rivières.

Les canaux latéraux aux rivières sont, autant que possible, établis dans la vallée où coule la rivière principale, afin d'éviter des montées et des

descentes, ou des tranchées et des passages souterrains, et afin de pouvoir puiser dans la rivière même les moyens d'alimentation.

Mais dans les vallées très-encaissées, comme celles du Rhône et d'une partie de la Garonne en aval de Toulouse, l'on est dans l'alternative; ou de suspendre en quelque sorte le canal de dérivation sur des coteaux abruptes, avec des difficultés d'exécution très-grandes et des chances de filtrations énormes; ou d'en prélever l'emplacement sur le lit même de la rivière, en isolant le canal de la rivière par des digues ou même des murs, qui, étant exposés à l'action de l'eau sur leurs deux faces, exigent une grande solidité. Si la rivière n'est pas sujette à des crues très-considérables, on rend insubmersibles la digue d'isolement et les autres ouvrages d'art de cette zône du canal; mais, dans le cas contraire, malgré les inconvénients graves de la submersibilité, on est forcé de la subir, en consolidant tous les *terre-pleins* des rives du canal et de ses écluses, de manière à éviter leur corrosion par les crues.

Les canaux latéraux aux rivières rencontrent tous les affluents de celles-ci en restant dans la même vallée; de là des questions très-compliquées sur les moyens de les franchir. Ainsi on peut faire descendre le canal de dérivation jusqu'au niveau de l'affluent, que les bateaux sont alors forcés de traverser dans toutes les circonstances d'étiages et de crues. Les écluses du canal de jonction avec la rivière peuvent présenter ainsi toutes les difficultés qu'on a signalées plus haut. On peut aussi faire passer le canal au-dessus de l'affluent par un pont-canal; mais alors on s'expose à gêner la navigation de l'affluent, et surtout à faire gonfler les crues et à donner plus d'extension et de durée aux inondations.

Les obstacles que les formes et la nature du terrain peuvent opposer à l'établissement d'un canal de dérivation sur l'une des rives, obligent aussi quelquefois à le faire passer sur la rive opposée en franchissant la rivière; et alors se présentent les mêmes questions que pour la traversée d'un affluent. Les rapports déjà cités sur les canaux latéraux à la Loire et à la Garonne, l'ouvrage de M. le major Poussin sur les *Travaux d'améliorations intérieures aux Etats-Unis*, contiennent sur cet objet des documents d'une grande importance à méditer; la publication des rapports analogues et des débats préalables à l'exécution des grands travaux, formerait le meilleur enseignement sur l'art de les projeter : il serait complet si, subséquemment, l'historique des travaux eux-mêmes venait s'y joindre.

RÉSUMÉ DE LA VINGT-SEPTIÈME LEÇON.

DES CANAUX DE NAVIGATION ARTIFICIELLE. — CALCUL DES CONSOMMATIONS D'EAU. — RÉSERVOIRS D'EAU. — RIGOLES D'ALIMENTATION. — BIEFS DE NAVIGATION.

Considérations générales.

Les canaux de navigation artificielle sont des *routes d'eau stagnante*, divisées par des gradins plus ou moins élevés. L'art de les projeter consiste en ce qu'elles aient le moins de longueur que possible, et que la somme de leurs gradins en hauteur soit un minimum. Les évaporations, filtrations, et la traversée des bateaux étant des causes permanentes de déperdition d'eau, exigent aussi des ressources permanentes d'alimentation. De là une autre difficulté dans l'établissement des canaux de navigation; elle entraine dans des dépenses considérables et force généralement d'allonger leur développement.

Si, sous le rapport commercial, on compare ces canaux aux routes ordinaires et aux chemins de fer, l'on sait déjà : que l'effet utile de l'effort de traction de l'homme ou des animaux est, avec la vitesse de 1 mètre par seconde, sur les canaux à eau stagnante, presque soixante fois plus grand que sur les routes empierrées; et cinq à six fois plus grand que sur les chemins de fer de niveau; mais que ces rapports diminuent rapidement avec l'augmentation de vitesse au moins jusqu'à la limite de 3 à 4 mètres par seconde.

Ainsi les canaux, *du moins avec la forme actuelle des bateaux de transport*, ne conviennent généralement que pour les transports qui n'exigent pas une grande rapidité. Indépendamment de cette considération, chaque passage d'un bief au suivant dans le même canal, dépense jusqu'à 15 à 20 minutes de temps. Ainsi, même pour les transports à petites vitesses, il peut arriver qu'on préfère les routes ordinaires.

En effet, la dépense de transport se compose : 1° de celle de la charge et de la décharge; 2° de celle du transport par unité de longueur, qui est

évaluée moyennement de $0^f,04$ à $0^f,06$ par tonneau et par kilomètre; 3° de la longueur totale; 4° des droits de péage, qui sur chaque voie de communication représentent l'intérêt des capitaux engagés dans la construction et l'entretien annuel; ils varient, pour les canaux existants en France, de $0^f,016$ à $0^f,10$ par kilomètre et par tonneau de 1000 kilogrammes, y compris le poids des bateaux. et pour toute espèce de marchandises; 5° des droits *fiscaux*, des primes d'assurance contre les risques, fraudes, soustractions, etc.

Le premier élément, dont l'influence est d'autant plus grande que le trajet est plus court, est souvent plus dispendieux pour les canaux que pour les routes; parce que les premiers ne passant presque jamais devant les magasins ou dépôts des objets à transporter, il faut d'abord au départ charger en voiture, puis décharger pour mettre en bateau, et faire les opérations inverses à l'arrivée.

Le deuxième élément est incontestablement inférieur pour les canaux. Le prix des transports sur les routes ordinaires par tonneau et par lieue de 4000 mètres, est aujourd'hui en France par le roulage ordinaire, $0^f,90$; par le roulage accéléré, de $2^f,10$; et par les diligences, de $4^f,50$. Il est de 2 f. par tonneau aux États-Unis, par roulage ordinaire.

Le troisième élément est, au contraire, presque toujours plus grand pour les canaux que pour les routes empierrées et même que pour les chemins de fer.

Le quatrième est plus élevé pour les canaux que pour les routes empierrées, même quand il y a des barrières de péage; mais généralement il est beaucoup moindre que pour les chemins de fer, où le prix par tonneau et par kilomètre n'est pas encore descendu au-dessous de $0^f,035$, et s'est élevé jusqu'à $0^f,10$.

On compte MOYENNEMENT, comme il a été dit à l'occasion des chemins de fer, 150,000 fr. par kilomètre de canal (écluses et ouvrages d'art compris) pour la construction première; 1,100 fr. pour l'entretien par kilomètre, non compris frais d'administration, et 2,600 fr. y compris ces frais.

Les évaluations *moyennes* s'effectuent aussi en comptant chaque kilomètre de canal (non compris les écluses) à 108,000 fr., et chaque mètre de hauteur rachetée par écluse ordinaire à 24,000 fr.

Aux États-Unis, le canal de la Chesapeake à la Delaware, entièrement revêtu en maçonnerie sur sa longueur, a coûté 500,000 fr. le kilomètre, et le kilomètre du bief de partage de 7 kilomètres de longueur au canal de la

Chesapeake à l'Ohio (lequel comprend à la vérité un souterrain de 6,700 mètres de longueur) a coûté 481,000 fr. Le canal du Mississipi au lac Pont-Chartrain, revêtu en bois sur toute sa longueur, muni de 17 gares et bassins, est évalué à 755,000 fr. le kilomètre. Les écluses de grande dimension du canal Calédonien, de 52 mètres de longueur sur 12 mètres de largeur, ont coûté près de 200,000 fr. par $2^m,40$ de chute. Le kilomètre de ce canal est ressorti à environ 588,000 fr.

On rappelle d'ailleurs qu'il n'existe pas en France de péage sur les routes ordinaires.

Le cinquième élément est variable. Toutefois, les droits du fisc en France ne dépassent pas 0f,15 par tonneau et par kilomètre.

On s'explique ainsi comment des routes latérales à des canaux ont été préférées par le commerce pour des trajets peu considérables.

Toutefois, un canal nouveau, lorsqu'il ne promettrait par son revenu de péage aucune compensation *immédiate* et *directe* des frais de construction et d'entretien, pourrait être d'une haute utilité publique. Ainsi, le transit des marchandises étrangères sur le canal, peu productif sous le rapport des droits de péage, a une importance très-grande pour la navigation nationale et la prospérité des ports. Ainsi encore, un canal qui traverserait une contrée marécageuse, malsaine, infertile, l'assainirait et y développerait rapidement les exploitations agricoles et industrielles, et le bien-être des populations; en sorte que l'état recevrait, par ses impôts de toute espèce, par la création de ces nouvelles valeurs, un ample dédommagement des dépenses de construction et d'entretien de la nouvelle voie de communication.

Classification des canaux

Les canaux de navigation sont divisés en deux catégories :

1° Canaux d'un seul versant compris dans le même bassin principal, comme la plupart des canaux de Belgique et de Hollande, celui d'Arles à Bone. Ces canaux ont une seule pente ascendante ou descendante ;

2° Canaux à point de partage à deux versants, qui réunissent deux bassins en franchissant la chaîne des reliefs de terrain qui les séparent; tels que celui de Briare, le plus ancien de tous, ceux du Languedoc, du Centre ou du Charolais, de Bourgogne, de Bretagne, la plupart des canaux des États-Unis d'Amérique, etc. Ce genre de canaux était inconnu des anciens.

Un canal de la première catégorie peut donc être considéré comme l'une des deux branches d'un canal à point de partage qui n'aurait que deux

7

versants; et ce dernier canal se compose de ces deux branches et d'un bief culminant ou bief de partage, qui, en général, doit alimenter d'eau les deux versants.

Recherche du point de partage

Etant donc donnés, les points extrêmes d'aboutissement d'un canal à point de partage, et les points intermédiaires de *sujétion forcée*, la question principale qui se présente d'abord, c'est la position du point de partage.

Il y a des exemples de point de partage naturels : par exemple, l'étang de Longpendu, et celui de Cony près Epinal.

Le premier, à son extrémité sud, verse une partie de ses eaux dans la Bourbince, laquelle se rend dans la Loire ; et, à son extrémité nord-est, il verse le reste de ses eaux dans la d'Heune, qui a son embouchure dans la Saône. Le deuxième, celui de Cony, est en relation à la fois avec le bassin de la Moselle, par la rivière de Niche, et avec le bassin de la Saône, par la rivière *le Coney*. Ces étangs, à deux versants opposés et naturels, ont sans doute donné l'idée des canaux à point de partage. Le premier de ces étangs a été utilisé, et forme le faite du canal du Centre ou du Charolais ; le second fait la base principale d'un projet de communication entre les bassins de la Saône et de la Moselle, qui n'a pas encore reçu son exécution.

Le point de partage doit être placé le plus bas que possible, pour diminuer le nombre des *gradins éclusés*, et, par suite, la durée et les dépenses du trajet ; comme aussi pour donner la plus grande facilité que possible de réunir des eaux d'approvisionnement, et en diminuer à la fois la consommation.

Le faite d'une chaine de montagnes, ainsi qu'on l'a déjà dit, présente des dépressions qu'on nomme cols, et qui jouissent de plusieurs propriétés remarquables, signalées dans les mémoires déjà cités de MM. Brisson et Torcy, et développées par M. l'Ingénieur géographe Denaix. C'est dans ces ouvrages qu'on en trouvera l'exposé détaillé.

La vue est trop resserrée sur le terrain pour qu'elle saisisse l'ensemble des reliefs d'une grande étendue de montagnes. Les auteurs cités font remarquer : que quand des cours d'eau, placés sur les deux versants d'une chaine de montagnes, sont parallèles, mais coulent dans des directions opposées, il y a des chances pour trouver un col dans le voisinage; qu'il y a également minimum ou maximum de hauteur de faite lorsque les deux cours d'eau, après avoir coulé parallèlement et *dans le même sens*, se

quittent pour suivre des routes obliques par rapport aux précédentes et divergentes l'une de l'autre.

En général, le caractère géographique d'un col, c'est que 1° dans son voisinage se trouvent les sources des cours d'eau de chaque bassin; 2° qu'il occupe la partie de la contrée comprise entre les sources de deux cours d'eau opposés, appartenant aux deux bassins que le faîte sépare; 3° enfin, que les vallées opposées de chaque côté du faîte, sont à leur plus grand rapprochement. Si l'on joint à ces remarques que la pente et la vitesse d'un cours d'eau diminuent en s'éloignant de la source, et que, par suite, les cours d'eau secondaires ont généralement une pente plus forte que celle des rivières sur lesquelles ils s'embranchent, on pourra, sur une carte géographique ordinaire, où les faîtes des montagnes et les thalwegs des bassins sont tracés, reconnaître la zône du terrain intermédiaire entre deux vallées, où doit se trouver le minimum de relief à franchir.

En se portant ensuite sur les lieux, sur la crête de la chaîne de montagnes, pour trouver le point précis, on descendra jusqu'à ce qu'il y ait remonte. Quand ce point est ainsi découvert, il faut rechercher quelles sont les eaux qui y arrivent naturellement, ou qu'on pourra y amener. MM. Brisson et Torcy ont également facilité beaucoup les explorations en limitant leur champ.

Quand on aura reconnu toutes les sources dont les eaux peuvent être amenées au point de partage, il faudra constater, par un nivellement exact, leurs positions respectives, mesurer les distances qui les séparent du point de partage, et surtout jauger leur produit dans toutes les saisons; enfin, se rendre compte approximativement des sections et pentes qu'il faudrait donner aux rigoles qui conduiraient les eaux, soit au point de partage, soit aux biefs inférieurs. L'examen géologique du terrain apprendra d'ailleurs s'il y a des chances d'obtenir, par le forage de puits artésiens, des eaux d'alimentation, sinon au point de partage, au moins dans les régions plus basses du canal projeté.

Cela fait, il s'agit de comparer les ressources ou approvisionnements d'eau qu'on aura reconnus, avec les besoins de la navigation. Mais, pour l'appréciation de ces derniers, on admettra un tracé *hypothétique* des parties des deux branches du canal, qui doivent être alimentées par le point de partage, et une évaluation, également *hypothétique*, du nombre et de la chute des gradins éclusés. De plus, il faudra se donner, comme point de départ, 1° les dimensions et tirants d'eau au maximum, des

bateaux qui fréquenteront le canal, pour en déduire celles du canal lui-même; 2° le nombre moyen journalier des bateaux de la navigation dans les deux sens, apprécié d'après des données statistiques, et d'après la prévision *même exagérée* des développements que cette navigation prendra dans l'avenir.

Les hypothèses sur la longueur des biefs à alimenter doivent être faites dans le sens le plus large; le nombre probable des écluses s'obtiendra en divisant les hauteurs totales du point de partage au-dessus des points extrêmes inférieurs de chaque branche du canal, par $2^m,60$, hauteur probable de chute des écluses.

Dimensions et tonnage des bateaux.

Les dimensions, le tirant d'eau et le tonnage des bateaux varient beaucoup en France : réglés primitivement sur l'état défectueux de la navigation naturelle des rivières, sur l'absence de bons chemins de halage, ils tendent à augmenter, 1° avec les améliorations faites à cette navigation; 2° aussi par une activité plus grande dans le commerce; car les bateaux d'un grand tonnage étant à *chargement complet* sous le rapport des frais de construction, et de la manœuvre de halage, plus avantageux au commerce que les petits, sont substitués à ces derniers partout où le mouvement commercial est assez actif pour garantir charge pleine aux grands bateaux, à chaque voyage.

C'est ainsi que les bateaux qui remontent le Rhône, ont en quinze ans, presque doublé de tonnage, et prennent maintenant 75 ton. Les bâtiments de la Basse-Seine, entre Rouen et Paris, portent jusqu'à 500 et 600 ton.; ont de 6 à 7 mèt. de largeur, 50 à 70 mèt. de longueur et 2 mèt. de tirant d'eau. Sur la Meuse, les bateaux de $1^m,12$ de tirant d'eau, portent 250 ton.

Les bateaux à vapeur américains de 120 tonneaux, naviguant sur le Tennessée, présentent les dimensions suivantes :

	m.
Longueur du pont.	30,45
Largeur non compris les roues.	6,07
Largeur y compris les roues	9,14
Creux	2,28
Tirant d'eau avec charge entière.	1,52

Les bateaux à vapeur employés sur les zônes inférieures du Mississipi ont 11 mètres de largeur, $36^m,50$ de longueur, et $2^m,30$ de tirant d'eau.

Les rivières canalisées et les bateaux exécutés anciennement en France, n'offrent malheureusement aucune uniformité dans les dimensions des

écluses, et, par suite, dans celles des bateaux; de sorte que, dans les communications nouvelles à établir entre elles, on oblige le commerce à des transbordements fâcheux. Pour remédier à ce grave inconvénient, on a pris pour base, dans les canaux de grande navigation établis depuis 1822 : 1° une largeur de 5^{m},20 pour les écluses, suffisante pour les bateaux ordinaires de 5 mètres de largeur ; 2° une largeur de 10 à 11 mètres au plat-fond, et de 16^{m} à la ligne d'eau, pour les canaux, dimension suffisante pour le passage de deux bateaux ; 3° une longueur de sas d'écluse de 35 mèt. pour des bateaux qu'on suppose avoir de 32 à 33 mètres de longueur; 4° enfin un tirant d'eau de 1^{m},30, pour lequel on donne 1^{m},65 de profondeur d'eau aux canaux. On s'est écarté de ces chiffres dans les canaux de Bretagne, où les écluses n'ont que 4^{m},60 de largeur de passage; probablement parce que les bateaux arrivés par la Loire à Nantes sont obligés d'y faire *escale*.

Pour les canaux de petite navigation, on suppose ou que les bateaux ont la même longueur que ceux de grande navigation, et leur demi-largeur, comme dans le canal du Berry; ou que les petits bateaux n'ont en même temps que la demi-longueur des grands, en sorte que quatre d'entre eux équivaudraient à un seul grand, pour l'espace superficiel.

Sur les canaux intérieurs où des bateaux à vapeur doivent passer, on assigne en France 8 à 12 mèt. de largeur aux écluses; et de 44 jusqu'à 70 mèt. de longueur entre les enclaves des portes d'amont et celles des portes d'aval.

Les canaux de jonction de grands lacs, de bras de mer, tels que ceux de Gothie en Suède, le canal Calédonien en Écosse, les canaux Érié et Champlain, ceux de la Louisiane, de la Chesapeake à la Delaware, du cap Cod aux États-Unis, pratiqués pour des bâtiments à la voile, et surtout pour des bateaux-à vapeur, ont des dimensions de sections, d'écluses et de ponts, correspondantes à celles des bâtiments. Au canal de Gothie et au canal Calédonien, ainsi qu'on peut le voir dans les figures 387 des planches, les sections transversales des biefs sont : Figures 387 des planches.

	Au plat-fond.	Au niveau de la banquette.	Au niveau de l'eau.	Profondeur d'eau.
Dans le 1er. .	7^{m},50	11^{m},50	14^{m},50	1^{m},70
Dans le 2e. .	12 ,00	24 ,00	24 ,00	5 ,10

Les sas d'écluse ont :

	Largeur.	Longueur du busc d'amont au busc d'aval.
Dans le 1er. . .	7^{m},00	36^{m},00
Dans le 2$_{e}$. . .	12 ,20	52 ,40

Figures 388 des planches.

Les canaux des États-Unis présentent les sections suivantes de biefs :

	Tonnage des bâtiments.	Largeur. Au plat-fond.	Au niveau de la banquette.	Au niveau de l'eau.	Profondeur d'eau.
	t.	m	m	m	m
Canaux Érié et Champlain . .	100	12,20	18,40	18,40	1,20
De la Louisiane, pour bateaux à vapeur	70	14,30		21,48	2,74
De la Chesapeake à la Delaware, et de la Delaware au Rariton pour bateaux à vapeur . . .	300	11,00	18,30	18,30	2,44
Canal du cap Cod. *Id.* . .	130	11,00	18,20	18,20	2,44
Canal du Muscle-Schoal. *Id.*	120	14,00	21,30	21,30	2,44

Les sas d'écluses des mêmes canaux des États-Unis présentent les dimensions suivantes :

	Largeur.	Longueur du busc d'amont à celui d'aval.	Longueur totale.
	m	m	
Canaux Érié et Champlain	3,66	27,45	
Canal de la Louisiane, pour bateaux à vapeur.	12,00	39,00	75^{m}
De la Chesapeake à la Delaware. *Id.*	6,40	30,45	
Canal du cap Cod. *Id.*	8,00	32,65	
Canal de Muscle-Schoal. *Id.*	9,80	36,00	

Dans ces divers canaux, les ressources d'eau pour la consommation étaient très-abondantes.

Consommations d'eau.

Les consommations d'eau auxquelles un point de partage ou une alimentation quelconque des biefs d'un canal doit pourvoir, sont :

Première catégorie, indépendante du mouvement de la navigation : 1° les pertes par évaporation ; 2° les pertes par filtration ; 3° les pertes par les fermetures ; 4° le remplissage de tous les biefs après le chômage pour cause de réparations.

Deuxième catégorie, dépendante du mouvement de la navigation : 5° les quantités d'eau nécessaires au passage des bateaux par chaque écluse ; 6° emprunts à faire au bief de partage pour subvenir à l'abaissement trop considérable des eaux dans les biefs inférieurs, par suite de l'affluence simultanée et continue des bateaux.

Pertes par évaporation.

Les pertes d'eau par évaporation sont d'autant plus grandes, que les surfaces d'eau sont elles-mêmes plus étendues ; ces pertes varient d'une région à l'autre, et, dans la même région, d'une année à l'autre suivant

les températures moyennes, maximun et minimum, l'état hygrométrique, les vents régnants.

Il faut en défalquer les quantités d'eaux tombées par les pluies, qui elles-mêmes sont très-variables, et ne peuvent entrer entièrement en compensation, surtout dans les provinces méridionales, où elles ne tombent pas uniformément, mais par orages. En supposant une hauteur totale annuelle d'eau de pluie de $0^m,60$, et une évaporation de $1^m,30$ à $1^m,50$, il resterait pour perte moyenne $0^m,80$ à $0^m,95$ par an, ou $0^m,002$ à $0^m,0023$ par 24 heures. Mais comme il peut y avoir, en été, dans la saison des sécheresses, jusqu'à deux mois d'évaporation sans compensation de pluie, on devra compter pour la consommation d'eau, par évaporation pendant une pareille période, une tranche de $0^m,010$ de hauteur en 24 heures. Il est évident d'ailleurs que cette hauteur devra être appliquée, non-seulement aux surfaces d'eau des biefs, mais à celle des réservoirs mêmes du point de partage, et aux rigoles d'alimentation.

Pertes par filtration.

Dans des terrains homogènes cette perte devrait être en raison de la surface des parois mouillées, de la charge d'eau, de la profondeur des couches susceptibles d'être imbibées, enfin du degré de leur saturation.

On évaluait autrefois cette cause de perte, tantôt à $\frac{4}{5}$, tantôt à 1 fois et demie, ou à 2 fois celle des évaporations.

Sur les canaux de Briare et de Loing, les pertes par filtrations sont au moins deux fois celles par évaporation. Le canal de l'Ourcq perd encore, en 24 heures, une tranche d'eau de $0^m,06$ à $0^m,10$ d'épaisseur. Au canal du Midi, les pertes par évaporation, filtration et autres, forment en tout une tranche de $0^m,03$ à $0^m,04$ de hauteur.

Mais il y a eu, sous ce rapport, des mécomptes énormes, qui, sur beaucoup de canaux, ont compromis la navigation, entre autres sur ceux de Narbonne, du Centre, de Saint-Quentin, de l'Ourcq, de Bourgogne, et du Rhône au Rhin.

Ainsi, le canal de Narbonne, dont les berges sont en graviers, perdait après quinze ans 12 mèt. cube par mètre courant en 24 heures, ou une hauteur d'eau de $0^m,80$.

Ainsi, au canal du Centre, construit par Gauthey, dans une zône en remblais, qui passait sur d'anciennes carrières, l'eau se perdait toute entière en 24 heures.

Ainsi, au canal de Saint-Quentin, où le bief de partage était établi sur un sol crayeux rempli de fissures d'une profondeur indéfinie, la navigation chômait pendant les deux tiers de l'année.

Dans les terrains argileux, qui prennent beaucoup de retrait, les alternatives de sécheresse et d'humidité, tantôt font perdre beaucoup d'eau, tantôt la retiennent toute entière.

Sans doute il y a des moyens d'art, soit pour éviter les filtrations, soit pour les arrêter. Mais ces moyens sont assez dispendieux, et leur emploi doit être mis, sous le rapport de la dépense première, de l'entretien et des chances de chômage, en parallèle avec ce que coûterait un supplément d'approvisionnement d'eau au point de partage.

Pour les cas ordinaires, on devra, surtout dans les premiers temps de la mise en service d'un canal, compter, pour les filtrations journalières, sur une tranche d'eau d'au moins $0^m,05$, laquelle devra s'appliquer également aux divers biefs et aux rigoles d'alimentation; mais pour les réservoirs alimentaires, ce chiffre devra être *augmenté* en raison de la charge d'eau incomparablement plus grande.

Pertes par le jeu des portes.

Ces pertes dépendent de la bonne exécution et de l'entretien des fermetures d'écluse. Au canal Saint-Quentin, il y avait des fermetures qui perdaient 1000 mètres cubes d'eau par jour. Ces pertes ne doivent être comptées qu'une fois pour chaque branche du canal, et sont assimilables à un écoulement constant d'eau d'un bief à l'autre.

On a calculé cette dépense d'eau, pour chaque branche du canal, tantôt à 80 mètres, tantôt à 100 mèt., 200 mèt., et même 300 mètres cubes : on fera bien de se baser sur ce dernier chiffre.

Remplissage des biefs après les chômages.

Les chômages sur les canaux doivent être les plus courts que possible dans l'intérêt du commerce, de la salubrité, et même de l'économie permanente d'eau; parce que les parois des canaux desséchés, par une longue exposition à l'air, pourraient donner lieu à de grandes filtrations. Par cette considération, il arrivera souvent qu'on videra simultanément tous les biefs; il faudra alors les remplir tous à la fois.

Si les réparations, dans les biefs, se faisaient de bas en haut, on ne dépenserait, après le chômage, que le volume d'eau du bief le plus long, qui dans chaque versant dépendrait du point de partage pour son alimentation.

Consommations d'eau pour le passage ordinaire des bateaux.

La consommation d'eau pour les passages des bateaux, ne dépend pas seulement, 1° du nombre des bateaux, mais encore de l'ordre dans lequel se présentent les bateaux ascendants et descendants; 2° non-seulement du nombre des écluses, mais encore de leur espacement, de leur isolement ou de leur accolement. La dépense d'eau doit être calculée pour le maximum dans chaque cas.

Gauthey, dans le troisième volume de ses œuvres, a donné le premier, d'une manière exacte, la dépense d'eau dans toutes les combinaisons possibles. L'Inspecteur général des ponts et chaussées Ducros (voir son mémoire à la suite de l'ouvrage de Fulton, sur les moyens de perfectionner les canaux de navigation), a posé les formules de dépense d'eau pour la traversée d'un bateau, dans l'hypothèse d'écluses rapprochées ou accolées, et dans celle où le sas est totalement vide d'eau. M. de Prony a généralisé pour tous les cas.

Considérons d'abord des écluses assez éloignées l'une de l'autre pour que le bief de séparation fournisse le volume d'eau ou l'*éclusée* nécessaire au passage d'un bateau, sans dépression dans le niveau des eaux qui puisse empêcher la navigation. Il serait même prudent de compter sur deux éclusées.

Un bateau montant exige qu'après avoir fermé à l'aval, on remplisse le sas jusqu'au niveau des eaux du bief supérieur. Quand le sas est plein, on ouvre à l'amont; le bateau sort dans le bief supérieur; on referme à l'amont et on vide le sas en faisant épancher l'eau dans le bief inférieur. Celui-ci reçoit donc le volume R^{o} de remplissage du sas, plus le volume D de déplacement du bateau, ou $R^{o}+D$; à l'écluse suivante la dépense sera encore $R'+D$, en supposant la chute différente; le bief intermédiaire aura donc reçu $R'+D$ et perdu $R^{o}+D$; il ne se sera donc appauvri que de $R'-R^{o}$; le bief de partage aura dépensé pour la montée $D+R^{o}$. Figures 389 des planches.

Si le bateau descend, on commence par remplir le sas; on introduit le bateau, puis on vide le sas; le bateau descend en même temps; la dépense du bief supérieur est $R_{o}-D$; à l'écluse aval elle sera $R'-D$; le bief intermédiaire aura donc reçu $R_{o}-D$, et dépensé $R'-D$; par conséquent il aura varié de $R_{o}-R'$; et le bief de partage aura dépensé $R_{o}-D$: donc sa dépense totale sera $R^{o}+R_{o}$.

Ainsi, tant que le volume d'eau déplacé par le bateau ou son tonnage ne varie pas, il n'a aucune influence sur la dépense du bief de partage ou sur l'état des biefs; et la dépense d'un bateau est de deux éclusées, dans chaque versant, en mesurant l'éclusée par le maximum de chute des écluses de ce versant.

Si les bateaux montants étaient à vide ou faiblement chargés, et que le contraire eût lieu en nombre égal pour les bateaux descendants, on pourrait réduire la dépense d'eau pour le passage des bateaux, et même

faire *remonter l'eau au point de partage*; mais il faudrait un grand nombre d'écluses à très-petites chutes.

Figures 3, 10 des planches.

Si l'on suppose des écluses rapprochées ou accolées et égales de chute, et qu'il y ait dans tous les sas de quoi faire flotter un bateau, c'est-à-dire, le *prisme de mouillage*, la dépense d'un bateau moutant sera évidemment $D + nR^{o}$ (n étant le nombre de sas rapprochés). Celle du même bateau descendant sera $R^{o} - D$, et la dépense totale $R^{o}(n+1)$.

Si, dans les sas éloignés, deux bateaux passent alternativement, ils ne dépenseront chacun qu'une éclusée.

Si, dans les sas rapprochés, les bateaux se suivent, ils ne dépenseront que deux éclusées. Mais il serait impossible d'établir une marche réglementaire qui économisât ainsi l'eau, sans entraver extrêmement le commerce; d'ailleurs, les sas restant longtemps pleins d'eau, les fermetures resteraient plus longtemps aussi chargées d'eau, et perdraient davantage, en sorte que, par leur détraquement plus rapide, il n'y aurait peut-être aucune économie d'eau.

Il est bon d'observer que, d'après ce qui précède, le niveau des biefs sera variable entre certaines limites, puisqu'il dépendra de ce qu'il aura gagné ou perdu d'eau par les passages successifs ou alternatifs des bateaux; que, dès lors, la dépense d'eau d'une éclusée sera également variable entre certaines limites : et que cependant un bief devra toujours être susceptible de fournir, sans gêner la navigation, l'éclusée nécessaire pour le passage d'un bateau montant.

Emprunts accidentels au bief de partage.

Le concours simultané de plusieurs bateaux dans un bief, le stationnement pendant la nuit, ou toute autre circonstance, pourraient avoir trop abaissé le plan d'eau, et forcé de recourir au bief de partage. Il est impossible de rien assigner à cet égard, puisque cela dépend et du nombre des bateaux concourants, et du nombre de fois que cette circonstance se présentera. Pour le point de partage entre la Loire et la Vilaine, on a compté pour cet objet $\frac{1}{10}$ en sus de la dépense totale pour le passage des bateaux.

Dans les éléments de la dépense totale d'eau, il y en a un, les *pertes par filtration*, qui offre les plus grandes incertitudes; un autre, la *consommation des écluses*, est susceptible d'un développement progressif dû à l'activité du commerce. Il est donc essentiel, dans l'assiette du point de partage, non-seulement d'assurer l'arrivage des eaux nécessaires d'après les prévisions actuelles, mais de plus celui des quantités supplémentaires

auxquelles il y aurait lieu à recourir éventuellement dans l'avenir. Ainsi le niveau auquel le bief de partage devra être établi, relativement aux terrains environnants, dépendra de la position de toutes les sources qu'il faudra y recueillir, et sera presque toujours en déblais d'une grande profondeur.

Il y a des régions à sol crayeux, où l'on ne trouve pas de cours d'eau à la surface, et où il faut pénétrer à des profondeurs quelquefois de 100 mètres et plus pour rencontrer la surface des eaux intérieures, infiltrées par les fissures *extérieures*. Lorsque sur les flancs de pareils terrains, mais loin du faite des reliefs, il sort des ruisseaux, leur débouché indique la profondeur probable de la nappe d'eau intérieure.

Un bief de partage, dans de pareilles contrées, doit nécessairement être descendu à cette profondeur, sauf à l'exécuter en souterrain.

Tout ce qu'on vient de dire sur l'alimentation du bief de partage, lorsqu'il doit subvenir aux besoins de la navigation sur une certaine longueur des deux versants, s'applique aussi, dans chaque versant, à l'alimentation des biefs éloignés du point de partage. Il faut recourir le plus possible à ces affluents d'eau inférieurs, pour éviter la pente et la vitesse qu'il y aurait à donner à l'eau de l'alimentation s'il fallait la tirer uniquement du point de partage, et la faire cheminer par le canal lui-même. La navigation ascendante trouverait d'ailleurs un obstacle sensible dans cette circonstance.

Nécessité des réservoirs d'eaux

Mais il ne suffit pas d'être assuré que l'arrivage moyen et annuel des eaux pourvoira à la consommation; *il faut que tous les jours cet équilibre existe*. Or, les sources donnent à certaines époques trois et même dix fois plus que dans d'autres; elles sont quelquefois taries pendant une partie de l'année; la navigation n'a point non plus d'uniformité; il y aurait donc de fréquents chômages, si l'activité de la navigation correspondait précisément aux époques de sécheresse. Cette considération oblige de créer des réservoirs destinés à recueillir et conserver les eaux dans les temps d'abondance, pour ceux de pénurie. Ces réservoirs sont particulièrement nécessaires près le point de partage, mais sont souvent indispensables aussi pour les affluents inférieurs d'alimentation. On les établit d'ordinaire dans de grandes vallées qu'on barre transversalement. L'eau arrive par la surface et sort par le fond; en sorte que la profondeur d'eau de ces réservoirs est en défalcation de la pente que les eaux auraient eue si elles avaient été conduites directement aux biefs correspondants.

Après avoir constaté par un premier aperçu la possibilité d'alimenter

Tracé de la direction des branches d'un canal à point de partage.

d'eau les deux versants d'un canal, il faut en tracer les deux branches depuis le point de partage jusqu'au *premier point de sujétion*, et entre les *divers points de sujétion* dans la même branche. On appelle points de sujétion pour un canal les rivières avec lesquelles chaque branche doit être mise en communication, les exploitations industrielles, les villes commerciales qu'elle doit longer ou traverser; enfin les servitudes de défense militaire, territoriales et locales.

Sans doute on pourrait, par des embranchements de routes, chemins de fer, ou même de canaux, établir des communications entre une grande ligne de canal et les points dits de sujétion; mais, outre qu'on priverait ces derniers du bénéfice du transit, il y aurait à évaluer, en tenant compte des dépenses de construction et d'entretien, d'une part, pour le rallongement de la ligne principale, et, d'autre part, pour l'établissement d'un embranchement, lequel de ces deux moyens élèverait le moins le prix total des transports de toute espèce, y compris ceux en transit.

Les deux branches d'un canal s'écartent l'une de l'autre en sens opposé en suivant les vallées des cours d'eau qui ont déterminé le point de partage Toutes choses égales d'ailleurs, il est préférable de placer chaque branche d'un canal sur le flanc de la vallée où elle rencontrera le moins d'affluents d'eau secondaires et de routes, parce que chacun d'eux opposera des difficultés au passage du canal, soit qu'il traverse ces affluents ou routes par des ponts, soit qu'il passe au-dessous, soit qu'il descende jusqu'aux affluents pour remonter ensuite. Cette dernière circonstance est généralement une chose regrettable dans le tracé des canaux de navigation comme dans celui des grandes routes, autant pour la perte de temps que pour celle d'argent. Il est utile toutefois de se tenir, relativement à quelques-uns de ces cours d'eau, à une hauteur telle, qu'on puisse y recourir pour l'alimentation des biefs.

La position d'un canal sur le flanc d'une vallée doit le mettre autant que possible à l'abri des inondations des crues du cours d'eau qui est dans le thalweg de cette vallée, mais sans l'élever beaucoup au-dessus; parce que, pour le même talus de terrain, les filtrations du canal seront d'autant plus abondantes que le canal sera plus élevé, et il sera d'ailleurs d'autant plus difficile à alimenter. Enfin, il faut éviter autant les remblais d'une grande hauteur que les tranchées profondes de déblais auxquelles on substitue des souterrains en beaucoup de circonstances.

Le coteau le moins abrupte doit être préféré, *toutes choses égales d'ailleurs*, pour l'exécution des déblais et des remblais, et pour éviter les tranchées et souterrains, ou les montées et les descentes alternatives; mais c'est particulièrement la nature du terrain dont il faut se préoccuper. Un terrain de rocher présentera beaucoup d'avantages pour l'assiette des écluses et ouvrages d'art, mais il peut rendre aussi les remblais très-dispendieux; et, si ce rocher est crayeux et fissuré, des pertes d'eau énormes sont à craindre. Un terrain schysteux a l'inconvénient de se décomposer à l'air et de donner une boue molle dans les pluies et gelées. Si le sol est argileux, il sera d'une résistance suffisante pour l'établissement des écluses, commode pour les déblais, et gardera bien l'eau; mais, quand les bancs argileux sont inclinés, il arrive quelquefois que les terrains superposés glissent comme des avalanches. Si le sol est graveleux ou en gros sable, l'on est exposé à de grandes filtrations. Enfin, s'il est tourbeux ou vaseux, on éprouvera les plus sérieuses difficultés, soit pour creuser les déblais, dont le fond tendra sans cesse à remonter sous le poids non équilibré des rives, soit pour asseoir les ouvrages d'art; et de plus l'on n'aura que des matières de la plus mauvaise nature pour former les remblais.

L'encaissement de la vallée sur quelques points, forcera souvent aussi comme on l'on déjà dit pour les canaux latéraux aux rivières, de placer le canal longitudinalement dans le cours d'eau du thalweg.

Le passage d'un flanc à l'autre de la vallée peut être quelquefois nécessaire; dans ce cas l'on choisit les endroits les plus resserrés, où les abords offrent le terrain le plus solide, et où les raccordements avec les alignements du canal soient les plus commodes. Dans quelques circonstances aussi on trouvera préférable de dévier le thalweg du cours d'eau plutôt que d'asseoir des ouvrages d'art dans l'ancien thalweg de la rivière.

L'avant-tracé des biefs d'un canal réclame, autant que possible, des lignes droites ou d'un grand rayon de courbure, qui dispensent d'élargir le canal pour le passage de deux bateaux marchant en sens opposé. Toutefois, il y aura à considérer, dans chaque cas, si la sujétion d'un alignement rectiligne n'entraînerait pas une masse plus grande de déblais et remblais, ou une plus grande disproportion entre les déblais et remblais que l'élargissement d'un bief curviligne en plan; enfin, si cet excédant de dépense serait compensé par une diminution notable dans la durée du trajet pour les bateaux.

Les écluses se placent ordinairement dans les coudes et chutes rapides du terrain, de même qu'on y place *les paliers* dans les tracés des routes en pays de montagnes. On profite aussi, pour les écluses, toutes choses égales d'ailleurs, du point de croisement d'un chemin existant ou dévié à cet effet; parce que les maçonneries des écluses peuvent alors, avec une faible augmentation de dépense, servir à la fois pour les ponts, par lesquels les chemins traverseront le canal.

Du reste, on a déjà dit, pour les canaux latéraux aux rivières, comment devait s'établir le point de jonction du canal avec une rivière.

En résumé, le problème du tracé général d'une branche d'un canal à point de partage, consiste à satisfaire aux intérêts de la navigation par le minimum de longueur, le minimum de montée et descente, ou d'écluses, par la plus grande régularité possible dans le parcours; et à obtenir ces résultats avec le minimum de *dépense initiale et d'entretien*; ce qui sera encore un profit pour la navigation, toutes les fois que des tarifs de péage seront établis pour couvrir ces deux genres de dépense.

Mais comme la propriété de tous les *minimum*, est qu'en deçà et au delà, on profite de presque tous leurs avantages; et que de légères déviations dans un certain ordre d'idées ou de calculs, peuvent avoir des résultats très-importants dans un autre; c'est dans l'ensemble seul qu'on doit apprécier les avantages et inconvénients d'un grand tracé, et l'on peut alors ne pas tenir compte d'avantages et d'inconvénients *partiels*, qui ne seraient représentés que par des fractions très-petites de toute la masse.

Pour donner une idée des variations qui existent entre les nombres d'écluses, et par conséquent entre les hauteurs générales franchies et les longueurs de trajet dans les canaux à point de partage, on relatera les rapports moyens suivants :

				kilom.
Canaux français.	Canal du Rhin.	1	écluse par	1,40 de longueur.
	Canal du Midi.	1		3,03
	Canal de Bourgogne	1		1,26
	Canal du Centre.	1		1,40
	Canal de Saint-Quentin.	1		3,40
	Canal de Berry.	1		2,06
	Canal du Nivernais	1		1,06
	Canal du Haut-Rhin	1		1,50
	Canal d'Ille-et-Rance.	1		2,80
	Canal du Rhône au Rhin.	1		2,10
	Canal de Paris à Strasbourg, tracé par feu M. l'Ingénieur Brisson .	1		2,55

				kilom.
Canaux anglais. .	De grande jonction	1	écluse par	1,04 de longueur.
	Du grand Trunk.	1		2,
	De la Tamise et de la Severn . . .	1		1,08
	Leeds à Liverpool	1		2,30
	De Kennet et Avon	1		1,18
	De Rocdale	1		0,52
	De Forth et Clyde	1		1,66
	De Worcester en quelques parties.	1		0,90
	Mersey à Irwell	1		0,96
Canaux américains	De New-York.	1		7
	De la Chesapeake	1		7,40
	Canal projeté dans les Florides . .	1		10

Quand on aura, pour un avant-tracé, marqué sur le terrain l'emplacement et la profondeur du point de partage, des réservoirs et rigoles alimentaires, la direction et la hauteur des deux branches du canal; on relévera les plans et profils transversaux et longitudinaux, sur une largeur au moins double de celle de la ligne principale des opérations. On y relatera la circonscription des propriétés riveraines, et tous les documents qu'il aura été possible de recueillir sur la nature du terrain souterrain, et sur la profondeur des eaux intérieures. Celle-ci sera constatée par les puits existants, ou au besoin par des sondages et même par des percements de puits d'essai. L'on procédera ensuite aux études circonstanciées relatives à l'égalisation des déblais et des remblais des divers biefs, aux emplacements, chutes, formes et dimensions des écluses et autres ouvrages d'art.

Ces études auront pour résultat souvent de rectifier les vues primitives, et de faire étudier de nouvelles lignes.

Les calculs de déblais et de remblais pour les canaux de navigation, se font d'ailleurs d'après les règles indiquées à l'occasion des projets de route.

On renvoie pour les études de détail des tracés et du mode d'exécution des canaux, aux ouvrages de Peyronnet, Gauthey, Hageau et Girard, de MM. Dutens et Devilliers, aux *Voyages dans la Grande-Bretagne* de M. le baron Dupin, à l'ouvrage de M. le major Poussin sur les canaux d'Amérique, à l'historique du canal Calédonien, aux Mémoires déjà cités de M. le comte Pillet-Will, à ceux de M. Huerne de Pommeuse et d'une foule d'ingénieurs français et étrangers.

Figures 391 des planches.

Les figures 391 des planches représentent les plans et coupes topographiques d'un grand nombre de canaux à point de partage en France et aux États-Unis.

Ouvrages d'art des canaux de grande navigation.

Réservoirs d'eau

Les réservoirs d'eau doivent être isolés des divers biefs, et même quand cela est possible, des biefs de points de partage, pour qu'on puisse vider ceux-ci en cas de réparation. On consacre surtout à cette destination des étangs naturels. L'économie dans les dépenses premières est un avantage incontestable des *grands réservoirs artificiels*; mais, en cas d'accidents ou de réparations, le canal est forcé de chômer, tandis que le service de la navigation pourrait toujours se faire si l'on avait, au lieu d'un seul réservoir, plusieurs réservoirs de moyenne grandeur. Les sujétions de localités déterminent l'option pour l'un ou l'autre de ces systèmes.

Figures 392 des planches.

Les réservoirs communiquent avec les biefs qu'ils doivent alimenter, soit par une conduite unique partant du point le plus bas du réservoir; soit par des conduites étagées les unes au-dessus des autres, ayant des pentes de plus en plus fortes, et prenant l'eau à des points de plus en plus rapprochés du niveau permanent des eaux dans le réservoir. Par cette dernière disposition on peut à volonté, faire arriver plus ou moins rapidement de moindres ou de plus grandes quantités d'eau avec moins de sujétion dans la manœuvre des fermetures de ces conduits.

Figures 392 des planches.

Quand les réservoirs ne sont pas des étangs naturels, on les établit ordinairement dans des vallons, que l'on barre transversalement. On choisit des points où le terrain offre la solidité nécessaire pour l'assiette et l'enracinement du barrage dans les coteaux de rive, et où le barrage *ait le minimum de développement* relativement à la capacité de l'eau à soutenir. On a déjà dit quelles étaient les conditions auxquelles le niveau de l'eau, celui du fond du réservoir et les dimensions de ce dernier, devaient satisfaire.

Un réservoir artificiel se compose : 1° d'un barrage pourvu d'un moyen d'écoulement de l'eau, et muni *contre les vagues*, d'un parapet saillant du côté de l'eau, de $0^m,65$ à $1^m,50$, suivant l'étendue du bassin et la direction des vents régnants; 2° d'un déversoir de superficie qui empêche, surtout dans les temps d'orage, le niveau des eaux de s'élever au-dessus d'un repère déterminé; 3° d'un aqueduc de fond pour débarrasser le réservoir des eaux troubles et le vider en cas de réparations; 4° enfin, d'un avant-

réservoir, où l'eau des rigoles alimentaires dépose ses troubles avant de s'épancher par déversement, dans le réservoir proprement dit.

L'ouvrage capital d'un réservoir est le barrage. On en fait de trois espèces : 1° avec digue en terre revêtue, du côté de l'eau, et quelquefois aussi à l'extérieur, d'un péré à pierres sèches ou maçonné; 2° avec massif de terre contenu entre deux murs à peu près verticaux; 3° avec murs seulement. Ces barrages en plan peuvent être d'ailleurs posés sur une base curviligne convexe vers la retenue d'eau.

Il existe en France et en Angleterre des digues de 13 à 21 mètres de hauteur, qui ont bien résisté; d'autres, aux déversoirs du canal du Centre, ont été dégradées et même rompues, quoique revêtues en pierres.

Le grand empattement des digues en terre force de donner une grande longueur aux aqueducs d'évacuation, qui presque toujours, dans leur surface de contact avec la terre, sont des conducteurs pour les filtrations d'eau.

Le barrage du réservoir de Saint-Féréol au canal du Midi, celui de Couson au canal de Givors, enfin celui de Boulay sur le canal d'Ille-et-Rance, ont été faits avec terre entre deux ou trois murs verticaux. Le premier de ces barrages contient l'eau sur 32^m,40, dans la partie la plus profonde du vallon. Mais d'une part les tassements inégaux de la terre et de la maçonnerie, en déterminent les déliaisons; et d'autre part l'épaisseur qu'il faut donner aux murs pour résister à la poussée des terres et surtout de la glaise gonflant par l'humidité, équivaut presque à celle d'un mur entièrement en maçonnerie. Ce dernier système paraît donc préférable, surtout si on l'exécute avec des matériaux de moyenne grosseur, en bon mortier hydraulique, et qu'on place un corroi de béton du côté de la retenue d'eau. Il a été suivi au réservoir de Lampy du canal du Midi, pour soutenir une charge d'eau de 16^m,30 : malgré les précautions prises dans sa construction, quelques filtrations se sont manifestées; elles ont été arrêtées par le moyen de 10 tonneaux de chaux vive réduite en laitance, et que l'on a versée à l'amont du mur.

Figures 393 des planches.

Figures 394 des planches.

Quel que soit le genre de construction du barrage, il faut qu'il repose sur un sol qui n'éprouve pas de *tassements inégaux* et qui ne soit pas perméable; et pour satisfaire à cette condition on a, dans quelques barrages, enlevé jusqu'à 15 mètres de hauteur de gravier.

La base du barrage doit être *enracinée* dans le fond et sur les côtés, en creusant de distance en distance des encaissements, de manière à former des espèces de *tenons* qui ont en outre l'avantage de rompre le fil de l'eau.

Si le barrage est en digue de terre, on lui donne 4 à 5 mètres d'épaisseur au sommet, avec talus variaut de $1^m,25$ à $2^m,50$ de base pour 1 de hauteur; il faut y employer de la terre glaise légèrement mêlée de sable, la mouiller un peu à chaque couche avec de la laitance de chaux, damer avec le plus grand soin par petites couches, mais avec des dames, pilons ou rouleaux *dentelés*, et élever rapidement pour que le dessus des couches n'ait pas le temps de durcir.

Les maçonneries des aqueducs qui traversent la digue devront présenter en plan des ressauts nombreux et très-saillants pour rompre le fil de l'eau.

Si l'on fait un barrage en maçonnerie, on peut comme à Lampy, y établir des contreforts, moins pour diminuer l'épaisseur des murs, que pour empêcher en plan la *forme de chaînette* que prennent beaucoup de maçonneries d'une grande longueur encastrées à leurs extrémités.

Le service ordinaire des eaux du bassin de Saint-Féréol se fait, pour les tranches supérieures d'eau, au moyen de vannes manœuvrées par des crics, placées, la première à 2 mètres au-dessous de la surface des eaux du bassin, la deuxième à 8 mètres au-dessous. L'écoulement des tranches inférieures s'opère au moyen de trois énormes robinets scellés par le bas. Enfin, les eaux troubles du fond s'évacuent par une vanne dont le seuil est placé au niveau du fond du ravin.

Figures 393 des planches.

On renvoie, pour plus de détails, aux ouvrages publiés sur le canal du Midi, et surtout à un mémoire fort intéressant de M. l'Ingénieur en chef Vallée, sur les réservoirs d'alimentation, et particulièrement sur ceux du canal du Centre. Ce mémoire est inséré aux *Annales des ponts et chaussées* de 1833.

Les déversoirs de règlement du niveau des eaux d'un réservoir ont une largeur de débouché qui dépend du volume des eaux extraordinaires dans les orages.

Il est de la plus haute importance que l'eau, après avoir passé par-dessus la crête du barrage, s'écoule par une pente douce jusqu'au fond de la vallée; car sa chute brusque sur une grande hauteur pourrait déterminer des dégradations dangereuses dans les revêtements, et des affouillements à leur pied.

L'établissement de l'avant-réservoir ne présente aucune difficulté. Afin d'être dispensé de le curer pour l'enlèvement des dépôts, il serait avantageux, quand les localités le permettraient, d'avoir une communication directe de cet avant-réservoir avec la vallée, et d'évacuer les eaux après qu'on

y aurait remis en suspension tous les dépôts par des *appareils agitateurs*.

Lorsque le point de partage d'un canal est à un col ou minimum de faîte, il y a quatre régions d'où il est possible de faire venir l'eau, d'après une remarque de MM. Brisson et Dupuis de Torcy : deux principales et deux secondaires. Elles sont circonscrites par deux plans verticaux qui se coupent au point minimum du faîte, et dont les traces sur un plan horizontal, passant par ce point, sont à peu près tangentes aux courbes horizontales d'intersection de ce même plan horizontal avec les reliefs avoisinants. Rigoles d'alimentation. Figures 395 des planches.

La section et la pente d'une rigole doivent être calculées d'après les formules dues à M. de Prony; mais pour la pente on reste ordinairement entre les limites, de $0^m,10$ à $0^m,50$ par kilomètre. Toutefois on n'a donné que $0,^m07$ pour 1000 mèt. à la rigole de Courpalet du canal d'Orléans, qui présentait des sujétions spéciales par le peu d'élévation des sources au dessus du bief de partage, et par le grand développement de la conduite d'eau. Aux canaux du Centre et de Briare on s'est réglé sur $0^m,10$ à $0^m,12$ par 1000 mètres. La rigole de Saint-Féréol, a une pente surabondante de $0^m,88$ par 1000 mèt. ; on a été chercher l'eau dans des points trop élevés, pauvres en sources; on a été ainsi forcé de traverser des terrains très-accidentés et qui ne gardent pas l'eau.

A cube égal d'eau, une pente trop faible exige une section considérable; l'eau se perd par les évaporations, les filtrations, et le fond s'exhausse par les atterrissements. Une pente trop forte peut déterminer des érosions dans les parois, et apporter des eaux troubles dans les biefs ou réservoirs ; de plus elle va couper les ruisseaux alimentaires trop en amont, là où il y a le moins d'eau, et quelquefois au-dessus d'usines importantes.

Quand les rigoles d'alimentation doivent servir à la fois à la navigation, les dimensions de leur section dépendent des conditions de cette navigation, et la pente doit être réglée de manière que la vitesse ne dépasse pas $0^m,35$ par seconde.

La construction des rigoles exige les mêmes soins que celle des biefs; comme pour ceux-ci, on peut avoir à faire des remblais élevés, des tranchées profondes et des passages souterrains.

On place sur les rives des rigoles, des déversoirs de surface et des épanchoirs de fond, pour empêcher les eaux de dépasser leur niveau régulier, et pouvoir mettre les rigoles à sec en cas de réparation, soit des réservoirs, soit des rigoles elles-mêmes. Quand ces dernières s'appuient contre

un coteau, on établit également de ce côté, des contre-fossés ou de petits étangs, dans lesquels les eaux sauvages déposent leurs troubles avant d'entrer dans les rigoles par déversement.

Des biefs de navigation.

Un bief de navigation comprend la voie d'eau, les banquettes riveraines, les chemins de halage et les contre-fossés.

La section longitudinale d'un canal à eau stagnante est de niveau généralement. Cependant il y a quelques avantages à lui donner une légère pente, pour assécher complétement les biefs en cas de réparation. La section transversale devrait être telle, que la résistance de l'eau fût un minimum : Bossut, Condorcet, Dubuat, ont fait beaucoup d'expériences à ce sujet. Dubuat avait donné la formule

$$R = r\frac{8,4}{\frac{S}{S'}+2}$$

où R est la résistance dans un canal, r celle dans un fluide indéfini, S et S' les sections transversales du canal et du bateau; formule qui, pour l'égalité de R et de r, exigerait que S fût environ sextuple de S'.

La largeur du plat-fond d'un canal est aujourd'hui réglée généralement à deux fois celle des bateaux, plus un jeu de 15 à 20 centimètres lorsque les parois du canal sont à talus très-roides ou verticales. Toutefois, sur les biefs inférieurs d'une navigation, où la circulation est souvent beaucoup plus active, on peut être forcé de donner au plat-fond du canal au moins trois fois la largeur des bateaux. La même règle s'applique à tout ou partie de la longueur de ceux des biefs où les mariniers séjournent ordinairement, et qui forment ainsi gares de stationnement.

Lorsque l'encaissement d'une vallée, de grandes tranchées à faire, déterminent à restreindre la largeur du canal à celle d'un seul bateau, l'on a soin, aux deux têtes de ces rétrécissements, d'avoir des gares de stationnement sur une des rives du canal, ou d'élargir symétriquement ce dernier; la longueur de ces gares ou élargissements dépend de l'activité présumée de la navigation. On a recours aussi à ces élargissements dans les raccordements brusques et dans les changements d'alignements.

La profondeur d'eau des biefs doit excéder d'au moins 30 à 40 centim. le tirant d'eau maximum des bateaux, d'abord à cause des atterrissements. ou des troubles qu'on aurait à faire déposer dans les biefs pour arrêter les filtrations; puis à cause des plantes qui croissent au fond du canal;

enfin pour qu'on puisse retirer au moins *une éclusée d'eau* par bateau sans mettre les écluses à des distances très-considérables ou sans entraver la navigation. Un élargissement ou un approfondissement dans le bief satisferait aussi à cette dernière condition.

La forme évasée des bateaux dans leur section transversale, a fait adopter pour les parois montantes des deux rives d'un canal des lignes inclinées, dont la pente dépend du genre de construction de ces parois, ou, si elles sont en terre, de leur plus ou moins grande consistance. Si les biefs ne devaient jamais être mis à sec, la partie inférieure constamment immergée des parois pourrait être beaucoup plus roide que la partie émergée. Au reste, la hauteur des talus ne saurait être moins des deux tiers de la base, et peut aller jusqu'à 3 pour 1.

On a remarqué que le choc des bateaux, le batillage des eaux, l'action des glaces, dégradaient beaucoup la zône des parois montantes qui correspondait au niveau de l'eau; et, pour y remédier, on a quelquefois projeté à cette hauteur une petite banquette horizontale de 50 à 60 centimètres (qui a été portée à 1 mètre dans le canal Calédonien), qu'on a eu soin d'ensemencer d'iris, de roseaux et autres plantes aquatiques. Figures 396 des planches.

Le chemin de halage doit être établi le plus près possible des rives du canal, et à une hauteur telle que la corde de halage soit presque horizontale, afin d'éviter les pertes de force par l'obliquité dans les deux sens. Mais, d'un autre côté, il faut mettre le chemin à l'abri des ondes, qui peuvent être d'autant plus fortes que le bief est plus large et plus exposé aux vents régnants : on est convenu de rester, pour la hauteur du chemin de halage, au-dessus du niveau maximum des eaux, entre les limites, $0^m,50$ et $1^m,50$. Chemins de halage et marche-pied.

La largeur du chemin de halage, pour des hommes, pourrait être réduite à 2 mèt. ou $1_m,50$; et, pour des chevaux qui se croisent, à 4 mèt. et même à 5 mèt. comme aux canaux des États-Unis. Quelquefois on est forcé d'avoir des chemins de halage des deux côtés du canal, entr'autres lorsque les vents régnants se joignent à l'action du halage pour affaler le bateau sur l'une des rives. Quand ce chemin n'existe que sur l'une des rives, il y a, comme dans les rivières, sur l'autre rive, un marche-pied de $1^m,50$ à 2 mèt. Au reste, si le terrain superficiel n'est pas coûteux, et qu'on ait beaucoup de déblais disponibles, on élargit le marche-pied et le chemin de halage au delà des dimensions qu'on vient d'indiquer.

Quand le chemin de halage ou le marche-pied est en déblais, le souté-

nement qui s'élève sur la rive extérieure, est, suivant la hauteur, la nature des terres, et le mode de revêtissage, taillé en gradins plus ou moins rapprochés, ou en grands talus dressés suivant une seule pente.

Figures 397 des planches.

Quand le chemin de halage ou le marche-pied est en remblais, son talus extérieur varie également suivant la nature des terres et le mode de revêtissage des parois. Enfin, quand le canal suit les bords d'une rivière sujette à des crues, et doit rester insubmersible, il convient d'établir entre les deux une contre-digue, dont les talus, du côté de la rivière, sont alors préservés des érosions, des chocs de glaces et de corps flottants, par des revêtissages solides. Les figures 399 des planches indiquent les profils de divers canaux de France et de l'étranger.

Figures 398 des planches.

Figures 399 des planches.

Cavaliers des remblais.

Lorsque les déblais d'un canal excèdent les remblais à faire, il faut ici, comme dans les routes, retrousser l'excédant et former des *cavaliers* ou amas de terre réguliers sur des lignes parallèles au canal, et en arrière des chemins de halage et des talus des tranchées. On les écarte du bord supérieur de ces talus par une banquette d'au moins 2 mètres, afin que le poids des terres du *cavalier* ne fasse point fluer celles du talus en question. La position et la forme de ces *cavaliers* est réglée de manière à enlever le moins possible de terrain utile à l'agriculture, et à occasionner le minimum de dépense. M. l'Ingénieur de Bormans a présenté une solution de ce problème dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1836.

Figures 400 des planches.

Contre-fossés.

Des contre-fossés sont utiles sur les rives extrêmes d'un canal, pour en former la limite, pour recevoir du côté des coteaux les eaux sauvages chargées de troubles, et les introduire dans le canal quand elles se sont clarifiées, enfin pour recueillir les eaux de filtrations du canal au pied des talus des remblais, et les empêcher de se répandre au delà.

Figures 401 des planches.

Plantations.

Les plantations d'arbres en dehors du passage des cordes de halage sont toujours agréables et souvent utiles; cependant il ne faudrait pas les établir trop près des bords du canal de peur que les racines ne devinssent une cause de filtration, surtout quand les arbres étant coupés, leurs troncs restés en terre viendraient à pourrir. Lorsque le canal est en remblais et exposé au vent, celui-ci en agissant sur la cime des arbres, peut aussi causer des disjonctions de terres à leur pied. Il faut éviter en général les arbres à racines profondes, et préférer ceux dont les raci-

nes s'épanouissent beaucoup à la surface du sol, et dont les branches au contraire s'épanouissent peu.

Les plantations d'osier, les semis de plantes fourragères à racines superficielles, soutiennent les *talus*, diminuent l'évaporation et surtout forment un réseau qui retient les terres.

RÉSUMÉ DE LA VINGT-HUITIÈME LEÇON.

REMBLAIS. — DÉBLAIS. — TRANCHÉES ET SOUTERRAINS. — ÉCLUSES A SAS ISOLÉES ET ACCOLÉES. — MOYENS D'INTRODUCTION D'EAU DANS LES SAS.

L'exécution des remblais et déblais, surtout sur des hauteurs considérables, exige dans les canaux, bien plus de précautions encore que pour les routes ordinaires et pour les chemins de fer.

Les tassements des remblais d'un canal ouvriraient en effet de larges Remblais. fissures à l'eau, par lesquelles elle se répandrait dans tous les terrains inférieurs, et pourrait causer des pertes énormes à l'agriculture, indépendamment des chômages dans la navigation. Le simple glissement des talus extérieurs des remblais n'aurait pas immédiatement des conséquences aussi graves; mais elles viendraient à la longue.

Ainsi il faut ici, comme dans les remblais de routes et de chemins de fer, enlever soigneusement les premières couches de gazon et de plantes dans l'emplacement de la base du remblai, puis enraciner en quelque sorte ce dernier dans le sol. Le remblai doit être formé en terre argileuse du côté de la rive d'eau du canal, et en fortes pierrailles du côté du talus extérieur. Les couches, de 16 à 20 centim. d'épaisseur, doivent être légèrement mouillées et damées fortement soit par le roulage des terres, soit par des pilons ou des rouleaux *dentelés*, qui sillonnent chaque couche damée avant d'en appliquer une nouvelle, et assurent ainsi leur liaison mutuelle. Quand on sera rendu à la cunette des eaux du canal, on s'arrêtera pour laisser le tassement s'opérer avant d'exécuter cette dernière partie

du travail. Il est avantageux, en conséquence, de commencer les travaux d'un canal par les grands remblais.

Figures 402 des planches.

Les talus extérieurs peuvent être disposés sur un seul plan incliné ou par gradins; ce dernier moyen morcèle les avaries, se prête à l'etablissement de clayonnages de retenue des terres, de semis et de plantations. Si, à raison de la nature des terres, de la roideur obligatoire des talus, du voisinage des crues d'une rivière, l'on juge nécessaire de revêtir le talus en pierres, on fera bien de consulter sur le mode de construction des pérés par compartiments indépendants, le mémoire déjà souvent cité de M. l'ingénieur en chef Vallée, inséré dans les *Annales des ponts et chaussées de* 1833.

Figures 403 des planches.

Lorsque le terrain manque pour établir un remblai avec talus naturel des terres, on est forcé de soutenir le canal, du côté de la vallée, par des murs en pierres sèches, ou avec mortier. Dans ce dernier cas, il faut y établir un corroi en béton du côté de la cunette du canal, et à peu près sur toute la profondeur de cette cunette, à moins qu'elle ne soit elle-même enveloppée par un corroi de ce genre ou par un corroi en terre glaise.

Si le talus extérieur d'un remblai est baigné par les eaux d'un étang, ou d'une rivière, toute la partie immergée doit être revêtue ou d'un mur ou d'un péré en maçonnerie avec corroi en béton sur les derrières, pour que les terres du remblai ne soient pas détrempées, et ne puissent en fluant, déterminer des tassements et des fissures dans le haut.

Les canaux anglais présentent un grand nombre de remblais très-élevés. Une partie de 500 mètres de longueur, du canal de Worcester, est sur un remblai de 20 mètres de haut.

Les abords de l'aqueduc du Ponteisilty, sur 600 mètres de longueur, présentent 35 mètres de hauteur. La largeur des remblais au sommet y est de 13 mètres, et d'environ 100 mètres à la base.

Grandes tranchées en déblais.

Les grandes tranchées en déblais ne présentent pas moins de difficultés et de dépenses que les remblais. On en a fait mention à l'occasion de l'exécution des routes, et lorsqu'il a été question de la direction à donner aux branches d'un canal. Les fig. 404 des planches indiquent les éboulements arrivés au canal d'Ille-et-Rance, et à celui de l'Ourcq, avec les moyens qui avaient été proposés ou employés pour y remédier.

Figures 404 des planches

Si le terrain à déblayer est en rocher, il faudra avoir soin, quand on sera arrivé au niveau du dessous de la cuvette d'eau du canal, de n'em-

ployer la mine qu'avec circonspection, afin de ne pas ouvrir des fissures par lesquelles l'eau s'échapperait.

Si le rocher est schisteux et susceptible de se décomposer à l'air, il paraît convenable de tailler en gradins les talus de la tranchée, de les couvrir de terre végétale ou de gazons, et d'y faire développer des plantes à racines superficielles.

On a déjà dit dans la 16ᵉ leçon que dans les terrains formés de couches d'argile en pente, entremêlés de couches de sable, il fallait, par des piquetages, clouer en quelque sorte les diverses couches l'une sur l'autre; mais ce moyen n'est guère praticable si le banc incliné est très-profond; il sera préférable alors de chercher à dévier les eaux intérieures qui, en s'échappant par les lits des couches, hâteraient le glissement. Ce même procédé est le seul praticable pour des terrains marécageux, mouvants ou bouillonnants par la présence de l'eau. Il faut alors rechercher le point de départ des eaux, et par des aqueducs à pierres sèches, par des caniveaux en bois, ou des pierrées, les éconduire loin de la tranchée sur des terrains plus bas qu'elle. Ce moyen a réussi au canal de l'Ourcq, où la tranchée s'effectuait dans un sol formé de couches de sable et d'argile.

Figures 405 des planches.

Figures 405 des planches.

L'argile, par ses alternatives de retraits et de gonflements avec la sécheresse et l'humidité; le sable par sa mobilité quand il est très-sec ou très-mouillé, ont également besoin d'être mis à l'abri des vicissitudes atmosphériques.

La taille des talus en gradins avec gazonnages, ou l'établissement de perés en pierres sèches, est donc nécessaire indépendamment de la déviation des eaux souterraines. Des revêtissages en terre glaise ou des perés maçonnés, sont également nécessaires aux parois de la cunette, si elle est établie dans une couche de sable ou de gravier. On a pris ce parti aux États-Unis sur toute la longueur de 22ᵏⁱˡ·40 du canal de la Chesapeake à la Delaware.

Pour les tranchées marécageuses ou tourbeuses, dans lesquelles, au fur et à mesure des travaux, le fond se relève par la charge des rives, on a dit à l'article *routes*, le petit nombre de moyens d'art dispendieux qu'on pourrait employer.

En Angleterre, dans des travaux de ce genre, on a dressé les rives transversalement en pentes très-allongées, ainsi qu'on peut le voir dans la fig. 406 des planches; de plus on a établi des fossées parallèlement et transversalement à la tranchée.

Figures 406 des planches.

Aux États-Unis d'Amérique, pour le canal de la Nouvelle-Orléans,

on avait projeté de revêtir en bois toutes les parties du canal. Ce moyen est fort coûteux.

L'expérience ayant appris que beaucoup de gonflements du fond des tranchées, et d'éboulés latéraux cessaient quand l'eau était introduite dans les biefs; il serait probablement possible de les prévenir en effectuant des tranchées *par zônes très-étroites*, qu'on remplirait immédiatement d'eaux; ces zônes seraient séparées les unes des autres, par des bandes des terrains qu'on enlèverait ultérieurement. On recourrait au besoin à des machines à draguer pour toute la partie inférieure de ces bandes qui serait au-dessous du niveau de l'eau des zônes.

Figures 407 des planches.

Au canal Saint-Maur, pour éviter les éboulements des talus de grandes tranchées permanentes, et l'achat de terrains pour l'emplacement de cavaliers, l'on a effectué une coupure pour la construction d'un souterrain voûté, puis on a rechargé les produits des déblais primitifs, sur cette voûte et contre ses piédroits.

L'économie des déblais dans les grandes tranchées, fait réduire la banquette de halage à 2 mètres, et le marche-pied à $1^m,50$.

L'extraction, et les transports des déblais aux remblais, s'exécutent du reste dans les canaux, comme il a été dit pour les routes, par chemins horizontaux ou inclinés, en terre, bois ou fer, et à l'aide de brouettes, de camions, de tombereaux ou de machines à ascension verticale, tels que les *bourriquets* et autres.

Des souterrains.

Les difficultés des grandes tranchées et leurs dépenses, la masse énorme des déblais qu'elles donnent et qu'il faut élever à une grande hauteur pour les retrousser en cavaliers, les énormes agglomérations d'ouvriers ou de chevaux qu'elles exigent, leur font généralement préférer les percements en souterrains dès que la profondeur dépasse 16 mètres; toutefois ce chiffre limite suppose que le souterrain sera restreint au passage d'un seul bateau, n'aura pas besoin d'être voûté, ou qu'il sera assez long pour que la dépense des maçonneries ne soit qu'une faible partie de la dépense totale.

Une tranchée pourrait être également réduite à la largeur d'un bateau pour la cuvette du canal; mais l'économie que l'on se procurerait ainsi serait d'autant moins importante que la profondeur augmenterait, puisqu'elle ne croîtrait *qu'en simple raison de la profondeur*, tandis que les déblais latéraux pour les talus croîtraient en *raison des carrés* des mêmes profondeurs.

Le rétrécissement d'un souterrain, au passage d'un seul bateau, est au con-

traire une économie considérable dans la dépense d'un souterrain, parce que le volume de déblais qui y correspond est une forte partie de la masse totale; que plus le souterrain sera large, plus il sera difficile de le percer et de se passer de voûtes, et plus ces voûtes seront dispendieuses. Toutefois il faut convenir que, sous le rapport de la navigation, un souterrain étroit oppose une grande résistance au mouvement des bateaux, et par l'eau et par l'air; le trajet en est lent et pénible, et c'est une véritable entrave à la circulation générale. On a évalué aux États-Unis, à 4 heures, le temps que mettrait un convoi de 30 bateaux à parcourir les 9,000 mètres du bief de partage, de 6,700 mètres que l'on trouve au canal de la Chesapeake à l'Ohio.

Aussi, sur quelques canaux anglais, et notamment sur ceux de la Tamise et de la Severn, une galerie revêtue en maçonnerie de 3,932 mèt. de longueur a été ouverte sur 13^{m},72 de largeur.

On donne à la cuvette d'un canal, dans un souterrain, de 0^{m},30 à 0^{m},60 de jeu total pour le passage des bateaux. Au canal Saint-Quentin il y a deux banquettes de halage de 1^{m},20; mais on préfère n'en avoir qu'une seule de 2^{m},20 environ, ayant la largeur des deux. On hale ordinairement avec des hommes dans les souterrains : si l'on employait des chevaux, il faudrait plus de largeur à la banquette et un parapet du côté de l'eau. On peut aussi se servir d'une corde de halage fixée à l'une des extrémités du souterrain et touée par le batelier lui-même. Enfin, on peut placer à l'entrée des souterrains, des machines de traction mues diversement : dans ces deux derniers cas on est dispensé de banquettes.

La hauteur du passage souterrain au-dessus du niveau de l'eau dans les canaux existants, varie de 3^{m},30 à 4^{m},60 pour les bateaux *non mâtés*.

Aux États-Unis, pour des bateaux allant à la voile sur le canal de la Chesapeake et de l'Ohio, on a mis le sommet de la voûte des souterrains à 5^{m},10 au-dessus du niveau de l'eau.

La forme de la voûte, au-dessus du même niveau, est tantôt ogive, ou elliptique, tantôt ovale en forme de poire. Souvent elle présente deux parois verticales ou inclinées, rejointes par des voûtes en plein cintre, elliptiques ou ogives. Ces trois dernières formes semblent le mieux convenir lorsque le souterrain n'est pas voûté. Mais ce cas est très-rare, et dans presque tous les souterrains l'on a été obligé de revêtir en bois ou en maçonnerie. La maçonnerie a été préférée généralement au bois, à cause du prompt dépérissement de celui-ci dans des galeries souterraines. Figures 408 des planches.

Dans le cas de *parois en maçonnerie*, l'on donne ordinairement à toute la section depuis le radier, soit la forme elliptique à grand axe vertical, soit celle de piédroits verticaux avec plein cintre; mais on dispose toujours le radier de la cuvette en voûte renversée.

L'épaisseur de la voûte et celle des piédroits dépendent de la forme de la section de la voûte, des matériaux employés, des mortiers dont on dispose, et surtout de la nature des terres à soutenir et des charges d'eau *qui pèsent* sur les sources et filtrations.

L'emploi des pierres de taille ne convient guère aux zônes intérieures des souterrains, parce que l'espace, la clarté, le temps, manquent à la fois pour exécuter ce genre de maçonnerie avec la précision qu'il requiert. Des maçonneries de petits matériaux de moellons, briques, et même de béton, conviennent beaucoup mieux.

Il faudra, d'ailleurs, en contre-haut du niveau de l'eau, ménager une multitude de créneaux pour faire affluer les sources dans le canal.

Les souterrains existants sont revêtus en moellons ou en briques (souvent moulées *ad hoc*) et avec mortier hydraulique; les épaisseurs des piédroits et voûtes ont varié depuis 40 centim. jusqu'à 1 mètre, et même $1^m,40$.

Le prix des souterrains construits est compris entre des chiffres extrêmes très-distants.

Au chemin de fer de Lyon à Saint-Étienne, un souterrain de 15 à 1800 mètres de longueur, de 5 mètres sur $3^m,10$ de section est ressorti, le mètre courant à	900 fr.
Le grand souterrain du canal Saint-Quentin, à	1000
Celui de Pouilly sur le canal de Bourgogne, à.	2000
Celui du canal du Nivernais à.	2350
Le souterrain de 6700 mètres de longueur du canal de la Chesapeake à l'Ohio (États-Unis d'Amérique).	2650
Celui du canal du grand Trunck en Angleterre	1100

On a cité le souterrain de 3930 mètres de longueur, creusé à 72 mèt. sous le point culminant du terrain, au canal de la Tamise et de la Severn en Angleterre, où le mètre cube d'excavation dans le roc est ressorti à 276 fr.

Les têtes ou entrées des souterrains doivent être en maçonnerie, à

moins que par des circonstances fort rares, le rocher puisse en tenir lieu. Tantôt les maçonneries s'arrêtent à la hauteur des voûtes, et le surplus de la hauteur totale jusqu'au faîte du terrain primitif est abandonné à lui-même ou dressé en talus; tantôt ces maçonneries s'élèvent sur toute la hauteur, afin d'empêcher des éboulis qui viendraient obstruer l'entrée, et occasionner des avaries graves aux embarcations.

Dans l'assiette d'un souterrain il est beaucoup plus important d'éviter les longues tranchées à ses abords *que de le raccourcir lui-même*; il vaut mieux aussi le placer au-dessus du fond d'une vallée que dans ce fond; pour éviter, d'une part, les eaux de la vallée pendant l'exécution, et, de l'autre, pour pouvoir y rejeter toutes celles qu'on rencontrerait.

Le mode d'exécution le plus simple d'un souterrain, est évidemment de ne pas recourir à des points intermédiaires, et de pénétrer par les deux têtes en *cheminant vers le milieu de la longueur*. Ce moyen convient à toute espèce de terrains, puisque chaque partie exécutée sert d'abri aux ouvriers pour avancer; et que, s'il y a des eaux intérieures, elles s'écoulent vers les têtes. Le bouclier imaginé par le célèbre Brunel pourvoit à tous les accidents qui peuvent se présenter dans cette marche du travail. Mais on peut atteindre à peu près le même but dans les plus mauvais terrains par des séries *de galeries étagées*. Chacune est percée alors à l'aide de cadres de *blindage* en bois, servant en même temps de cintres pour les maçonneries de revêtissage.

Mode d'exécution des souterrains sans le secours des puits.

Figures 409 des planches.

Ces cadres, grossièrement assemblés, qui sont usités dans les travaux souterrains des mines, et décrits dans les ouvrages relatifs à l'exploitation des mines, ne peuvent avoir guère plus de $2^m,50$ de largeur d'un côté à l'autre, et une longueur de plus de $1^m,50$. On chasse, entre leur pourtour et le terrain à creuser, des morceaux de bois équidistants qui soutiennent ce dernier pendant qu'on vide l'intérieur du cadre : ces morceaux de bois dépassent les cadres et sont en surplomb; et quand on a enlevé le terrain qu'ils circonscrivent, on place un cadre nouveau.

Figures 410 des planches.

L'on peut donc percer ainsi deux galeries latérales dans les deux rives du souterrain et dans l'emplacement des piédroits, et effectuer immédiatement la maçonnerie des piédroits en partant du milieu et rétrogradant vers les têtes. L'on enlève les cadres de blindage au fur et à mesure de l'exécution de chaque zône de maçonnerie, et on remplace les vides que laisse le bois du côté du souterrain par des remblais en terre ou pierres sèches. Au-dessus de la partie exécutée

Figures 411 des planches.

des piédroits, l'on creuse une nouvelle galerie avec les bois de blindage de la précédente, et l'on élève une nouvelle portion de piédroits ou de bandeaux de voûte. Lorsqu'on est arrivé aux parties de la voûte qui ne peuvent se soutenir elles-mêmes, le bas des galeries correspond à l'intrados de la voûte, en sorte que les maçonneries de cette dernière sont portées par la terre elle-même. Par ce procédé, M. l'Ingénieur en chef Minard est parvenu en cinq mois à exécuter au canal de Saint-Quentin une zône de maçonnerie de 22 mètres de longueur, dans un point où il y avait eu des *fondis* (éboulis verticaux avec entonnoirs dans le haut). Il est évident d'ailleurs que ce travail par parties peut être également pratiqué dans les souterrains résistants où les petites galeries auxiliaires n'auraient pas besoin d'être blindées, et où l'on voudrait seulement économiser les cintres de la voûte principale : c'est ce qui a été fait pour le souterrain du chemin de fer de Paris à St.-Germain, qui a été exécuté sous des maisons d'habitation de plusieurs étages de la commune des Batignoles.

Si, par suite de la nature du terrain ou de toute autre cause, on était forcé d'exécuter d'abord la voûte d'un souterrain en maçonnerie avant les piedroits, il y aurait ensuite à bâtir ceux-ci en *sous-œuvre par parties*. Ce travail pourrait toujours être fait en n'enlevant d'abord que le massif qui servait de cintre à la voûte, puis en faisant successivement dans le terrain en contre-bas, et jusqu'au niveau de la fondation des piédroits, des tranchées blindées au besoin latéralement, qui auraient de $0^m,50$ à 1^m50 de largeur suivant la nature du terrain, l'âge et la résistance des maçonneries de la voûte. Ces tranchées aboutiraient à l'extrados des piédroits et donneraient ainsi la faculté d'exécuter une longueur de piédroits suivant l'axe du souterrain, de $0^m,50$ à $1^m,50$; après quoi, par de nouvelles tranchées intermédiaires aux premières, on multiplierait et rapprocherait de plus en plus ces espèces de *piliers*, qui bientôt ne formeraient plus qu'une masse continue. Par cet ordre de travail, les tassements brusques seraient évités, et le champ des avaries possibles serait resserré.

Figures 412 des planches.

Ces travaux par parties n'ont sans doute pas une grande régularité ; mais si l'on tenait à l'obtenir, il suffirait de faire d'abord de cette manière une enveloppe extrados concentrique, en dedans de laquelle on ferait ensuite construire le revêtissage régulier de l'enveloppe apparente à l'intrados.

Des souterrains avec puits.

Le percement d'un souterrain seulement par les deux têtes serait une opération extrêmement longue, dès que l'intervalle entre ces têtes serait

de plus de 200 à 300 mèt. ; et la mise en service d'un canal, l'intérêt des capitaux employés en souffriraient. On a recours, en conséquence, à des puits d'exploitation plus ou moins rapprochés, depuis 40 mètres jusqu'à 200 mètres d'intervalle. Ces intervalles ont été de 100 mètres au canal de Saint-Quentin, et de 60 mètres à celui de Bourgogne. Ils dépendent de l'activité qu'on veut imprimer aux travaux, de la dureté du terrain, des quantités de déblais et d'eau à retirer par les puits, enfin de la force motrice qu'on doit appliquer à l'élévation des terres et des eaux. Les *Annales des ponts et chaussées* de 1833 contiennent un article intéressant de M. l'Ingénieur Thirion, sur l'espacement, les formes et les dimensions des puits.

La figure 413 des planches indique la coupe longitudinale du grand souterrain exécuté en Angleterre, au canal de la Tamise et de la Médway. Les puits y sont placés dans l'axe de la voûte. Figures 413 des planches.

Des puits sont nécessaires aussi à l'aérage; et cette destination restreint à 100 mètres l'espacement, sinon des puits d'exploitation, au moins de ceux de ventilation.

Les puits peuvent être placés ou dans l'axe du souterrain, ou dans l'alignement des parements des piédroits de la voûte, ou à 4 et 5 mètres en arrière. La première position convient aux souterrains résistants; la seconde est préférable pour les mauvais terrains, parce que, s'il y avait des éboulis dans les puits, ils ne compromettraient ni les ouvriers ni la marche des travaux. Quand on les place sur le côté, on les met en communication avec les galeries longitudinales de percement par de petites galeries transversales.

Si l'on se sert de manéges ou de machines à vapeur pour élever les matériaux et l'eau, il faudra que les puits, éloignés à grande distance, soient alors plus grands et aient l'équivalent de 4 à 5 mètres en carré. Si des hommes appliqués à des treuils ou cabestans sont le moteur employé; les puits plus rapprochés auront besoin de moins de débouché, et il suffira de leur donner l'équivalent de 2^{m},50 en carré. Même au souterrain de 6,700 mètres du canal de la Chesapeake à l'Ohio, ils ont été réduits à 1^{m},90 en carré.

La forme de section la plus convenable pour la résistance serait la forme cintrée; mais elle se prêterait mal au passage des caisses, hottes et autres agrès : on lui préfère une forme elliptique et même rectangulaire.

Les revêtements des puits, dans les terrains susceptibles d'être coupés verticalement, peuvent être en bois ou en maçonnerie. Les premiers, Mode d'exécution des puits.

qui pourrissent en peu d'années, ne conviennent que pour un travail d'une durée assez courte pour qu'on soit dispensé de les renouveler. Les seconds s'exécutent souvent en briques, pour hâter le travail et pouvoir réduire à 40 centimètres l'épaisseur de l'enveloppe. On sait que pour les grands puits circulaires de descente du tunnel sous la Tamise, où l'on avait à traverser un terrain homogène de glaise, de tourbe et de sable, M. Brunel a établi sur le terrain une plate-forme de fondation en bois, armée en dessous d'une pièce tranchante en fonte de fer. Il a élevé ensuite jusqu'à 12 mètres hors de terre la maçonnerie d'enveloppe, dont le poids déterminait l'enfoncement progressif au fur et à mesure qu'on enlevait les terres à l'intérieur. Ce moyen pourrait être employé pour une série de cadres en bois, bordés extérieurement et superposés, et où l'on suppléerait par le battage d'une sonnette, au poids qui dans le système de M. Brunel détermine l'enfoncement.

Mais ce procédé ne serait plus applicable à un terrain hétérogène qui offrirait des parties très-résistantes : alors on est forcé de percer le puits par tranchées, qu'on garnit successivement de cadres en bois. Si l'on
Figures 414 des planches. rencontre du sable bouillant ou des terres fluentes, on forme une enceinte en palplanches battues à la masse autour de chaque tranchée à déblayer.

Le percement des puits ne peut admettre qu'un très-petit nombre d'ouvriers dans une position gênée, et souvent rendue très-pénible par l'affluence des eaux de filtration ; on oppose à ces difficultés la non interruption du travail jour et nuit, et à l'aide de relais d'hommes.

Les appareils d'épuisement de l'eau des puits doivent satisfaire à plusieurs conditions très-sujettives; il faut qu'ils occupent peu de place, qu'ils puissent *s'allonger* au fur et à mesure de l'avancement du travail, fonctionner malgré l'augmentation progressive de hauteur, et qu'ils puissent être multipliés ou renforcés si la quantité d'eau devenait croissante. Les chapelets verticaux, les pompes aspirantes avec tuyaux en cuir et ressorts à boudin à l'intérieur, satisfont à peu près à ces conditions.

Toutefois, l'abondance des eaux dans les percements des puits prédomine souvent sur les moyens d'épuisement. L'on ne réussit pas toujours à étancher les voies d'eau latérales à l'aide d'étoupe, de mousse, de plâtre-ciment, ou de corrois en béton. Il n'y a plus alors d'autres ressources que de pratiquer, par l'une des têtes du souterrain, une petite galerie qui arrive jusqu'au point de la profondeur du puits où l'on a été forcé de s'arrêter; elle sert alors à évacuer les eaux. Cette galerie, approfondie au besoin ulté-

rieurement, est utilisée alors aussi pour évacuer les eaux de la fouille même du souterrain. Il peut même arriver que ce moyen soit moins dispendieux que d'élever les eaux par les puits *à une grande hauteur*. Figures 415 des planches.

Au grand souterrain du canal de la Chesapeake à l'Ohio, déjà mentionné, l'on a construit une galerie latérale d'épuisement de 0m,91 de large sur 2 mètres de haut.

Les puits étant rendus à la profondeur voulue, on perce en les blindant au besoin, les petites galeries transversales qui doivent les mettre en communication avec le souterrain.

Percement du souterrain dans les intervalles entre les puits.

Si le terrain du souterrain est résistant, et n'a pas besoin d'enveloppe en maçonnerie, on l'attaque au pic ou à la mine, par les deux extrémités de chaque intervalle d'un puits à l'autre.

Si, quoique susceptible de résister pendant quelques mois ou quelques semaines, le terrain exige une enveloppe en maçonnerie permanente; on effectue la maçonnerie en entier par zônes ou bandeaux dans le sens de l'axe du souterrain, et au fur et à mesure que les déblais sont terminés, en épontillant toujours par précaution en avant du travail. Ces zônes ont évidemment d'autant moins de longueur dans le sens de l'axe de souterrain, que le terrain est moins susceptible de se porter lui-même. Figures 416 des planches.

Si l'on craint que ce mode ne laisse encore trop de chances d'accidents, on exécute d'abord seulement les piédroits des deux rives dans tous les intervalles du souterrain compris entre deux puits consécutifs, et à l'aide de galeries blindées au besoin; cela fait, on creuse, à partir de la tête de chacun de ces intervalles, une tranchée de 1 à 2 mètres de largeur, et de la profondeur suffisante pour faire sur cintre un bandeau de la voûte de cette dimension; cette zône effectuée, on passe à une suivante, et les maçons venant ainsi des deux têtes de chaque intervalle du puits, se rencontrent au milieu. La fig. 418 des planches indique les précautions prises dans certaines zônes du canal souterrain de la Tamise et de la Médway. Figures 417 des planches. Figures 418 des planches.

Enfin, si le terrain était tellement mauvais que ce dernier mode présentât encore des risques, on emploierait ceux qu'on a déjà indiqués en parlant des percements par les deux têtes *sans le secours des puits*.

Si les souterrains construits éprouvaient des éboulis, il serait préférable de les remplir tout à fait par le haut, d'en éloigner les eaux pluviales, puis d'effectuer le travail par les galeries blindées et étagées, qui ont été mentionnées ci-dessus. C'est le moyen que M. l'Ingénieur en chef Minard a employé au canal Saint-Quentin.

Pour plus de détails sur les galeries souterraines, on renvoie aux historiques des grands travaux de ce genre et aux ouvrages relatifs, soit à l'exploitation des mines, soit aux galeries de mines d'explosion du génie militaire.

Les puits, après l'exécution des souterrains, doivent être fermés, pour empêcher des courants d'air trop actifs.

Par la même raison, il est utile de pouvoir ouvrir et fermer à volonté les têtes des souterrains jusqu'au niveau de l'eau, soit par des toiles qui s'enroulent ou se déroulent dans le sens vertical comme celles des salles de spectacles; soit par des châssis en bois amovibles, levés ou abaissés par des treuils, ou poussés et retirés comme des plaques de fermeture de fours.

Moyens d'arrêter les filtrations d'eau des biefs

Lorsqu'on a quelques raisons de craindre la perméabilité des terres, il faut leur laisser le temps de se rasseoir, et n'introduire l'eau que par parties, en morcelant les biefs par des bâtardeaux à faux frais. On prévient ainsi les effets des ruptures possibles des digues qui sont en remblais sur les terrains inférieurs, et l'on parvient à reconnaitre plus facilement les points à réparer.

Le premier moyen employé pour arrêter les filtrations, a été de faire arriver des eaux troubles sur les parties des biefs qui perdaient l'eau ; les troubles suivent les filets d'eau, se déposent dans les fissures du terrain, et les ferment. On voit, par une note de M. l'Inspecteur divisionnaire Fèvre, insérée aux *Annales des ponts et chaussées* de 1832, que le sable fin a parfaitement réussi pour étancher divers biefs du canal de Bourgogne; déjà l'essai en avait été favorable au canal Calédonien, où la charge d'eau est de 5 mètres à $5^m,40$; une couche de 6 à 7 centim. de sable a suffi pour prévenir et arrêter la plupart des filtrations. Dans les remblais on avait eu soin de plus d'exécuter dans leur partie centrale des corrois en sable fin et même en béton.

Figures 419 des planches.

Si l'emploi de ce moyen était infructueux dans certains terrains crayeux à fissures très-profondes et très-larges, on pourrait creuser le fond et les parois sur 1 mètre et même 2 mètres de profondeur, et remplacer le terrain enlevé par de la terre argileuse mélangée d'un peu de sable fin (pour éviter le retrait lors des chômages) et pilonnée par petites couches mouillées convenablement.

M. l'Ingénieur Brière de Mondétour, auteur des projets de canalisation de la Marne, et du canal de l'Aisne à la Marne, a proposé d'après des

faits nouveaux observés par lui, de prévenir les filtrations des biefs dans les terrains crayeux, par des corrois de fond et de rive en craie massivée, c'est-à-dire, broyée et réduite en pâte.

Au canal du Centre et à celui de Saint-Quentin, on a fait à 30 ou 40 centim. en arrière des parements de la cuvette d'eau, une enveloppe en béton, ou maçonnerie de moellons et mortier hydraulique, terminée du côté de l'eau par une chappe de 3 centim. d'épaisseur, le tout formant environ 16 à 17 centimètres. Ce moyen a parfaitement réussi, mais il est fort coûteux, et ne conviendrait peut-être pas aux filtrations qui proviendraient de tassements dans les parties des biefs en remblais. Ici l'emploi du sable fin atteindrait mieux le but. Figures 420 des planches.

Toutefois M. l'Ingénieur Minard a eu recours avec succès aux corrois de béton au canal du Centre pour l'étanchement des filtrations de la partie de ce canal qui était en remblais à *Vertempierre*.

Écluses.

Écluses à sas accolés.

On a vu plus haut que les écluses accolées avaient l'inconvénient de dépenser bien plus d'eau que les écluses qui seraient isolées par des biefs tels qu'ils pussent fournir deux éclusées sans interrompre le service de la navigation.

Les écluses inférieures, dans le système des sas accolés, ont sous le rapport technique, l'inconvénient d'être soumises à une charge d'eau très-considérable, qui peut déterminer des filtrations, des soulèvements de radier de bas en haut, et exiger des précautions et des dépenses considérables de fondation; en sorte que l'économie que procure la suppression d'une paire de portes, des murs en retour et d'épaulement, serait atténuée en grande partie. Figures 421 des planches.

Gauthey, dans le troisième volume de ses œuvres, trouve que l'économie définitive n'est que de $\frac{1}{7}$ à $\frac{1}{5}$ pour les sas accolés depuis deux jusqu'à cinq écluses. Mais Gauthey n'a pas fait ressortir que la véritable économie dans les sas accolés consiste dans le moindre développement à donner dans des terrains très-accidentés, à des biefs qu'il faudrait sans cela établir ou sur des remblais élevés ou dans des tranchées profondes et des souterrains. Il peut résulter de là même une économie dans la consommation d'eau par moindres pertes d'évaporations ou de filtrations dans les biefs. Enfin, les sas accolés économisent une rente annuelle assez considérable en frais d'éclusiers logés au compte de l'état.

Ainsi les sas accolés, employés judicieusement lorsqu'il y a grande abondance d'eau, peuvent être d'un emploi fort avantageux, surtout sur des terrains abrupts où la chute est très-grande.

Le nombre d'écluses accolées qui doivent racheter une chute déterminée, dépend de la chute de chacune d'elles; et celle-ci ne doit pas différer sensiblement des chutes des premières écluses isolées qui les suivent, afin de ne pas perdre inutilement de l'eau du bief de partage dans les bassins inférieurs. On fait du reste les chutes des écluses accolées égales entr'elles par le même motif, à moins que des sujétions locales ne s'y opposent. Cette uniformité est dans l'exécution une source d'économies assez considérables de taille et de pose.

Ecluses isolées. Dans les écluses isolées, toutes choses égales d'ailleurs, il est avantageux, par la considération qu'on vient d'énoncer, de faire les chutes égales entre deux prises d'eau successives. Mais ce principe n'a rien d'exclusif, et doit recevoir des modifications de la disposition des biefs relativement au terrain environnant. Quelques auteurs ont pensé qu'il fallait diminuer les chutes à mesure qu'on s'éloignait du point de partage ou de la prise d'eau, pour n'être pas obligé de tirer de ce dernier, de quoi remplacer les pertes par évaporations et filtrations dans les biefs les plus éloignés.

La grandeur des chutes et le nombre des écluses sont corrélatifs, puisque la hauteur totale à franchir est déterminée. Plus la chute d'une écluse est grande, plus elle consomme d'eau pour le passage d'un bateau; par conséquent, vers le point de partage, où les eaux sont moins abondantes, il paraîtrait utile sous ce second point de vue d'*avoir des chutes plus petites*, sauf à les augmenter dans les parties inférieures. Mais, d'un autre côté, il y a de cette manière près du point de partage un plus grand développement de biefs qui, par compensation, perdent l'eau en évaporations et filtrations; l'on arrive d'ailleurs moins vite aux affluents d'eau en contre-bas du point de partage.

Les grandes chutes économisent sur le nombre des biefs, sur celui des écluses et éclusiers, sur le temps total du trajet, mais forcent souvent de maintenir les biefs en remblais ou de les creuser en déblais sur une plus grande hauteur. L'exécution des écluses devient alors aussi plus difficile à cause de la charge d'eau plus considérable; enfin les fermetures d'aval sont plus élevées.

C'est donc un problème extrêmement complexe, surtout si l'on fait entrer de plus en ligne de compte la durée du trajet total pour la navigation, et les chances d'avaries et d'entretien de toute espèce.

L'usage général circonscrit les chutes d'écluse entre 1m,50 au minimum et 3 mètres au maximum pour les canaux de navigation *ordinaire de 1m,65 de tirant d'eau.*

On évalue d'ordinaire la durée du passage par une écluse de 2m,60 de chute, au temps nécessaire pour parcourir 500 mètres de longueur du canal. Sous le rapport de la dépense, une écluse de la même hauteur de chute correspond assez généralement à un bief de 550 mètres.

Dans les canaux à grande profondeur d'eau, où déjà la charge d'eau sur les parois de fond est de 4 à 5 mètres, les *conditions du problème sont toutes autres*. Il est évident, par exemple, que, sous le rapport des poids de l'eau, 1 mètre de plus ou de moins n'est alors que $\frac{1}{4}$ ou $\frac{1}{5}$ en plus ou en moins de la charge primitive.

Des dimensions et formes des écluses à sas.

Une écluse à sas isolée se compose : 1° de la chambre d'écluse d'amont, avec la fermeture correspondante et le mur de chute; 2° du sas intercalaire entre ce mur de chute et la partie la plus saillante dans le sas, de la fermeture de la chambre d'écluse d'aval; 3° de cette chambre d'écluse d'aval.

Figures 422 des planches.

Les chambres d'écluse d'aval et d'amont ont besoin d'être construites avec la plus grande solidité et une imperméabilité complète; le système de fermeture doit y être facile à manœuvrer, et le moins dispendieux que possible de construction et de réparation. Les dimensions des écluses sont d'ailleurs réglées généralement au minimum de largeur et pour le passage d'un seul bateau.

Des sas.

Figures 375 des planches.

Mais le sas, n'étant rempli d'eau que pour le passage des bateaux, pourrait être, à la rigueur, établi comme un bief ordinaire, et même comme les gares de ces biefs, pour plusieurs bateaux à la fois, ainsi qu'il avait été projeté par M. l'ingénieur en chef Goury, au point dit la Courbure du canal d'Ille à Rance. De là la distinction des grands sas et des petits sas.

Des grands et petits sas.

Déjà il en a été question pour la canalisation des rivières, et l'on a dit que les grands sas ne peuvent présenter quelque utilité qu'aux écluses de jonction des canaux avec les rivières, ou avec les eaux de la mer; et, lorsque la navigation se faisait concurremment avec de grands et de petits bateaux. L'on a dit alors que ces sas avaient l'inconvénient de dépenser autant d'eau pour le passage d'un seul bateau que pour celui de plusieurs; que le temps nécessaire pour remplir d'eau un grand sas et faire passer plusieurs bateaux simultanément, équivaut presque au temps qu'exige leur passage successif dans les petits sas. Il faut ajouter à ces considérations que les grands sas, s'ils sont exécutés simplement comme des biefs ordi-

naires, peuvent par le voisinage du mur de chute, donner lieu à des filtrations du fond, et que leur radier s'il est exécuté en maçonnerie comme dans les petits sas, a besoin d'une grande solidité pour n'être pas soulevé.

Les grands sas ne sont donc admissibles que pour les biefs servant de gares de stationnement; et même là il serait quelquefois préférable d'avoir deux écluses au lieu d'une seule, l'une à grand sas, et l'autre à petit, ou même deux écluses seulement à sas ordinaire, comme au canal du Prince Régent en Angleterre. Pour diminuer la dépense d'eau des grands sas, lorsqu'il ne se présente qu'un seul bateau, on les a coupés quelquefois en deux parties, par une paire de portes intermédiaires, ainsi qu'il a été dit pour les canaux latéraux aux rivères; mais alors le sas a une longueur totale plus grande que celle de deux petits bateaux bout à bout.

Figures 423 des planches.

Forme des sas.

Les sas sont exécutés généralement en plan sur une base rectangulaire, ayant pour largeur celle d'un bateau ou de plusieurs, suivant que le sas est petit ou grand; toutefois, au canal du Midi et dans des canaux anglais, on a donné une courbure elliptique aux bajoyers dans l'intention, soit de permettre aux petits bateaux qui accompagnent les grands de se placer dans ces renfoncements, soit de procurer plus de résistance contre la poussée des terres. Mais la dépense d'eau par éclusée est plus grande; le radier est moins solide ou plus dispendieux à solidité égale; et les sujétions de cette forme curviligne coûtent, sous le rapport de la résistance, plus qu'elles ne produisent. On a donc généralement adopté aujourd'hui une base rectangulaire.

Les deux parois de rive du sas ont été faites quelquefois en talus; mais cette forme évasée dépense beaucoup trop d'eau, force d'allonger les contre-forts des écluses pour que l'eau d'aval ne puisse pas s'infiltrer par les talus, et donne lieu à des réparations continuelles; l'on fait donc aujourd'hui généralement des parois de rive verticales. Seulement en Hollande, où la pierre est rare, l'on s'était servi de bois pour le fond et les bajoyers du sas. Mais cette espèce de caisse en bois, décrite dans l'Architecture hydraulique de Bélidor, gardait mal l'eau, exigeait des entretiens continuels et des renouvellements tous les douze à quinze ans; l'on a été ainsi conduit à faire partout en maçonnerie l'enveloppe des sas.

L'épaisseur des bajoyers et du radier doit être établie d'après les règles générales énoncées au commencement de cet ouvrage, et dans les cas les plus défavorables, comme s'ils étaient soumis *aux charges d'eau du bief d'amont*. Même si l'écluse se trouve sur le revers d'un coteau, il faut tenir

compte des charges d'eau des sources élevées, dont les filets pourraient aboutir aux bajoyers et sous le radier.

Pour réduire l'épaisseur de ce dernier, on l'exécute souvent en voûte renversée, dont la flèche est du $\frac{1}{7}$ au $\frac{1}{8}$ de la corde.

On a placé souvent aussi des contre-forts derrière les bajoyers, moins pour économiser sur l'épaisseur de ces derniers, que pour les empêcher de gonfler sur leur longueur en forme d'arc de chaînette, et pour rompre le fil des eaux d'infiltration venues d'amont. Le dessus du radier des sas correspond ordinairement au fond du bief inférieur.

Les formes et dimensions de la chambre de l'écluse d'amont dépendent du système de fermeture adopté. **Chambre d'écluse d'amont.**

S'il consistait en poutrelles superposées, ou châssis amovibles dans le sens vertical, il est évident que la chambre d'amont serait restreinte à un radier très-court de niveau avec le fond du bief d'amont, et à deux bajoyers très-courts avec rainures ou feuillures, raccordés par des pans coupés ou des murs en retour avec les talus de ce bief. Mais l'emploi général des portes tournantes sur axes verticaux, et à deux vantaux busqués pour les écluses de plus de 3 mètres de largeur, force d'allonger les bajoyers de la chambre d'écluse d'amont de la longueur des vantaux ouverts, ou plutôt de la longueur des enclaves ménagées pour loger l'épaisseur du bois.

Quelquefois on laisse de plus, en amont de ces enclaves, 1^{m},50 à 2 mèt. de longueur pour les rainures des poutrelles qui auraient pour objet de retenir l'eau seulement en cas de réparations des portes. Le système de fermetures par portes exige aussi dans le radier une hauteur en saillie de 20 à 30 centim. pour le buttement du bas des vantaux mobiles. **Figures 424 des planches.**

Les murs de chute sont disposés tantôt en plan suivant une ligne droite perpendiculaire à l'axe de l'écluse, tantôt suivant un arc de cercle. La première disposition convient pour les portes non busquées et à un seul vantail; la deuxième pour les portes busquées, parce que dans ce cas l'épaisseur des maçonneries entre le mur de chute et les portes est uniforme, et parce que l'eau, quand elle entre dans le sas par des ventelles ménagées dans les portes d'amont, se présente normalement aux parois du mur de chute, et n'éprouve pas de ricochets. **Murs de chute.**

Le mur de chute pourrait en profil être établi en plan incliné, ou suivant la courbe de *plus vite descente*, afin d'amortir la vitesse des eaux lorsque

Figures 425 des planches

l'on les introduit par des ventelles; mais on perdrait de la place pour les bateaux et il faudrait allonger d'autant le sas.

Le mur de chute est donc ordinairement vertical dans la plupart des anciennes écluses, et il rachète la différence de hauteur du radier du sas et de celui du bief. Mais il en résultait plus de maçonnerie pour le mur, et surtout une chute d'eau très-forte sur le radier du sas et sur les bateaux, et des avaries pour les deux. Aujourd'hui l'on diminue souvent le mur de chute; le radier de la chambre des portes d'amont reste de niveau, mais sa tête amont se raccorde par une petite pente avec le fond du bief. L'on

Figures 422 des planches.

prévient ainsi en partie les effets ci-indiqués, et l'on fournit de la place aux extrémités saillantes des bateaux. L'inconvénient de cette disposition déjà mentionnée précédemment, est d'accroître la charge d'eau que les portes d'amont ont à soutenir, et d'exposer aux atterrissements le palier sur lequel elles doivent tourner.

En donnant plus d'extension à cette disposition, c'est-à-dire, en supprimant le mur de chute, on compléterait l'avantage de raccourcir le sas, parce que les bateaux pourraient se loger entre les portes d'amont et celles

Figures 379 des planches.

d'aval; et ces deux jeux de portes seraient alors entièrement semblables entre eux. Mais il faudrait creuser en pente une assez grande longueur du bief en amont des écluses, au moins sur quinze fois la hauteur de la chute entre les niveaux d'amont et d'aval.

L'épaisseur des murs de chute doit être réglée par la charge d'eau en amont, et plus encore par la nécessité d'intercepter l'eau des filtrations,

Figures 422 des planches.

et de résister au choc des bateaux. Cette dimension est ordinairement de $1^m,0$ à $1^m,50$ pour des chutes de $2^m,60$; par les mêmes motifs on fonde le mur de chute ainsi que les parties des bajoyers attenantes plus bas que le reste des maçonneries.

La partie du radier de la chambre d'écluse d'amont, qu'on nomme *busc* ou heurtoir, est en saillie de 20 à 30 centim. sur le palier où tournent les portes d'amont; en plan le busc forme un chevron brisé vers l'amont, pour les portes d'écluse à deux vantaux.

La recherche de l'angle le plus avantageux à donner à ce chevron a occupé beaucoup d'ingénieurs; si l'angle était zéro, on aurait le minimum de longueur des vantaux, mais ils ne se prêteraient aucun appui; si l'angle était droit les vantaux se presseraient normalement, mais leur longueur et celle de l'écluse seraient plus grandes et les charges d'eau seraient plus fortes. D'après un usage presque général, la flèche du busc

est du $\frac{1}{5}$ au $\frac{1}{4}$ de l'ouverture ; cependant la moyenne des saillies de buse des anciennes écluses est du $\frac{1}{3}$ au $\frac{1}{4}$ de l'ouverture.

D'après un mémoire de M. Barlow, traduit de l'anglais, et qui se trouve dans l'appendice n° 4 de ce 2° volume, la saillie de busc devrait correspondre à un angle de 19° 24' de l'hypothénuse avec la base, c'est-à-dire être du $\frac{1}{6}$ au $\frac{1}{5}$ seulement de la largeur de l'écluse.

On appareille ordinairement le busc en claveaux suivant un arc de cercle concentrique à celui du mur de chute. Pour prévenir les épaufranes de la pierre et la jonction toujours imparfaite du bois des portes avec la pierre, on place contre les heurtoirs en maçonnerie des heurtoirs en bois encastrés de manière à pouvoir être renouvelés. Entre les deux, on engage une étoffe de laine très-épaisse, dite *frise*, fortement comprimée par les boulons à vis qui contiennent le heurtoir.

La distance entre l'enclave des portes d'amont et la naissance du mur de chute, dépend de l'épaisseur de ce dernier, et surtout de l'appareil du busc ; elle n'a pas ordinairement moins d'un mètre.

Les enclaves doivent avoir une profondeur et des évidements pour recevoir les portes ouvertes, avec tous leurs reliefs, tels que le passage des bateaux ne puisse être rétréci ; après les enclaves vient l'emplacement des rainures d'amont ; puis un pan coupé ou demi-cercle sur chaque rive, en raccordement avec le mur en retour. Ce dernier va s'enraciner dans le talus des biefs à une profondeur d'au moins un mètre en dedans de leur crête. Cet enracinement a pour but d'empêcher les eaux du bief amont de s'infiltrer derrière les bajoyers d'écluse.

On rétrécit quelquefois la cuvette des biefs supérieur et inférieur, comme il est indiqué fig. 426 des planches, en disposant alors en surfaces gauches les pérés de revêtissage aux abords des chambres d'écluse. Figures 426 des planches.

Les épaisseurs des murs d'enclave et de rainures, des pans coupés et murs en retour de la chambre de l'écluse d'amont, doivent être réglées dans l'hypothèse de *terres liquides remblayées en arrière*. Celle du radier peut être bornée dans un terrain de rocher à 1 mètre, dont 30 centimètres en maçonnerie parementée, et le reste en béton destiné à empêcher les filtrations d'eau. Ce radier est ordinairement terminé à la ligne des murs en retour par un arc de cercle concave à l'amont, ou par une plate-bande appareillée dans le même sens, ou même par une simple pièce de bois.

La chambre d'écluse d'aval présente, comme celle d'amont, un busc et des enclaves pour les portes ; mais en aval de ces enclaves il faut une Chambre d'écluse d'aval.

longueur aux bajoyers de cette écluse, variable suivant la charge d'eau que les portes auront à soutenir lorsqu'elles seront fermées. De plus, quand les portes se manœuvrent par des flèches, c'est à l'aval des enclaves que l'éclusier agit sur ces bras de levier. L'on donne donc à cette partie de la chambre d'écluse d'aval de 3 à 5 mètres de longueur dans les écluses de navigation ; on y réserve aussi des rainures pour recevoir des poutrelles formant bâtardeau en cas de réparation des portes. Les épaulements de la chambre d'écluse d'aval se terminent d'ailleurs, comme ceux de l'écluse d'amont, par des pans coupés ou demi-cercles, en raccordement avec les murs en retour. Le radier de la chambre d'écluse d'aval est terminé également en plan par un arc de cercle concave vers l'aval ou par une plate-bande ou même par une simple pièce de bois. Ce radier est d'ailleurs dans le sens vertical souvent en voûte renversée, ou en plate-bande appareillée en claveaux. De plus, à cause de la vitesse assez grande que prend l'eau lorsque l'on vide le sas, on met à la suite du radier de l'écluse d'aval un arrière-radier de 12 à 15 mètres de longueur, pour des chutes ordinaires de $2^m,60$ à 3 mètres. Cet ouvrage est formé d'une plate-forme plancheyée en bois, ou de fascinages et même de roseaux, ou enfin d'un pavage maçonné. Les talus du bief d'aval sont, par les mêmes motifs, revêtus de la même manière et sur la même longueur.

Figures 422 des planches.

Figures 422 des planches.

L'épaisseur du radier de la chambre d'écluse d'aval doit être la même que celle du radier des sas, parce qu'elle est soumise aux mêmes charges. Celle des murs d'enclaves, des murs de raccordement, murs en retour, doit être réglée comme celle des bajoyers. Quant à celle des épaulements, elle doit résister à la poussée de l'eau sur les portes fermées, et soutenir ces dernières quand elles sont tournantes ; on place quelquefois un contre-fort diagonal pour cette dernière fonction.

Exécution des écluses.

L'exécution des écluses ne requiert au reste des pierres de taille qu'aux arêtes des différentes parois et aux couronnements ; et même là elles peuvent être remplacées par des encadrements en bois ou en fonte de fer élégie, remplis en maçonnerie de mortier, avec moellons ou pavés de champ. Le reste des parements peut être exécuté en maçonnerie de moellon ou de briques avec bon mortier hydraulique. Mais des corrois en béton ; verticaux et transversaux à l'amont ; horizontaux sous les radiers du sas et des écluses d'aval ; et longitudinaux dans l'épaisseur des bajoyers, sont presque indispensables contre les filtrations.

Figures 427 des planches.

On a déjà dit, à propos des dérivations latérales aux rivières et aux

communications d'un canal avec la mer, qu'il était nécessaire d'ajouter, tantôt à la chambre d'écluse d'aval seulement, tantôt à la fois aux chambres des deux écluses d'amont et d'aval, des portes busquées vers l'aval suivant qu'on veut seulement empêcher les crues ou les marées hautes de pénétrer dans le canal, ou qu'on veut de plus pouvoir communiquer en tout temps du canal avec la rivière ou la mer, quelles que soient les hauteurs respectives de l'eau dans le canal et à l'extérieur. Les couronnements des bajoyers sont alors placés nécessairement à un niveau tel qu'ils soient insubmersibles même lorsque les eaux sont agitées à leur maximum de hauteur. **Écluses extrêmes d'un canal pour sa jonction avec des rivières.**

L'établissement dans la chambre d'écluse d'aval, d'une paire de vantaux busqués vers l'aval, *dits de flot*, n'exige pas une augmentation notable de longueur dans les bajoyers de cette chambre; parce que les portes se placent dans l'épaulement avant le pan coupé, et qu'un simple *trumeau* de $1^m,50$ au maximum sépare les enclaves de la nouvelle paire de portes et celles de l'ancienne. Il est évident d'ailleurs que l'existence de ces deux jeux de portes, manœuvrées en sens contraire, ne permet plus de se servir des flèches ordinaires pour les ouvrir, et qu'il faut recourir aux cabestans, treuils et palans. Figures 428 des planches.

Quand on met des portes de flot dans la chambre d'amont, pour opérer des sassements en *sens inverse* des sassements ordinaires, on peut réduire ou supprimer le mur de chute, comme il a été déjà dit; sinon on le dispose en plan de manière à former la base des nouvelles portes; celles-ci alors n'ont besoin que d'une hauteur bien moindre. On ne laisse aussi qu'un trumeau de $1^m,50$ environ entre les enclaves des deux jeux de portes de l'écluse d'amont; et les enclaves des nouvelles portes sont prises aux dépens des bajoyers du sas. Figures 429 des planches.

On pourrait à la rigueur se dispenser d'un double jeu de portes, en annexant des moyens de résistance *amovibles* contre la pression du flot, aux portes ordinaires convenablement relevées, alors même qu'elles seraient surmontées d'un étage de vantaux supérieurs indépendants des vantaux inférieurs. Ces moyens peuvent consister, soit en tirants de retenue en fer placés à l'aval, soit en arcs-boutants, dits *valets* placés à l'amont; ces derniers sont mobiles autour de charnières verticales placées dans les enclaves des portes, et se rabattent dans des refouillements pratiqués dans ces mêmes enclaves. Figures 430 des planches.

Dans les écluses à sas accolés, les portes d'aval d'un sas forment portes d'amont du sas suivant; l'on économise une paire de portes et la longueur des bajoyers qui correspondrait à ses enclaves. La pression de l'eau contre **Écluses à sas accolés.**

ces portes est d'ailleurs contretenue par toute la longueur des bajoyers d'une paire de portes à l'autre. Mais comme on l'a déjà fait observer, si les filtrations peuvent se faire jour, elles soumettront toutes les maçonneries des radiers et murs de chute des sas inférieurs, à toute la charge d'une colonne d'eau ayant pour base ces radiers et murs, et pour hauteur la différence de niveau entre eux, et le niveau de l'eau en amont du premier sas supérieur, différence qui peut être quelquefois de plus de 10 mètres.

Figures 421 des planches.

Les couronnements des bajoyers des différents sas, et les terre-pleins riverains, doivent présenter à la suite des portes et à peu près dans la direction transversale des murs de chute, des gradins à marches ou des plans inclinés assez roides d'une hauteur équivalente à celle des murs de chute. Ces gradins ou plans inclinés rendent plus difficile la manœuvre des portes d'écluses par des flèches.

Le canal du Midi, le canal Calédonien, le canal d'Erié aux États-Unis, offrent plusieurs exemples d'un grand nombre d'écluses accolées. Au canal Calédonien, l'escalier de *Neptune* présente huit sas accolés occupant un espace longitudinal de $457^{m},20$, et rachetant une chute totale de $18^{m}29$. La dépense totale s'est élevée à 1,236,400 fr., et par mètre de chute à 68,680 fr.

Moyens d'introduire l'eau dans les sas et de l'en faire sortir.

Le moyen d'écoulement d'eau le plus ancien, et qui paraît encore le moins mauvais, est celui d'ouvertures pratiquées dans les vantaux des portes et fermées facultativement par des ventelles qu'on fait monter et descendre à l'aide de crics. On lui a reproché de déliaisonner les portes, de causer des pertes d'eau, d'être très-lent pour les derniers temps du remplissage ou de l'évacuation du sas, et de produire pour les portes d'amont en particulier une cascade d'eau qui inonde les bateaux montants, les pousse vers l'aval, et dégrade le mur de chute et le radier du sas. Il est facile de remédier à ce dernier effet en plaçant un faux plancher d'une longueur environ triple de la hauteur de la chute.

Figures 431 des planches.

On y a substitué, au canal de Briare et au canal de Liverpool à Birmingham, des *larrons* ou aqueducs coudés en plan et avec pente en profil, qui partent normalement des deux rives de la chambre des portes, et débouchent normalement aussi dans les bajoyers du sas et dans les murs en retour de la chambre d'écluse d'aval. Ils sont fermés également à leur origine par des ventelles.

On établit souvent une communication entre les *larrons* des chambres d'amont et d'aval, qu'on peut interrompre alors par une ventelle, et dans ce cas ils ont un débouché unique dans le sas. Ce mode exige une

surépaisseur considérable dans les maçonneries, multiplie considérablement les chances de filtrations, et en rend la recherche et l'étanchement très-difficiles. Il est aussi lent que celui des ventelles, mais il a l'avantage de ne pas mouiller les bateaux et de ne pas les pousser contre l'aval, et d'éviter des dégradations dans les murs de chute et dans le radier; enfin, il est très-utile dans les canaux à pente où il y a un volume d'eau vive à faire passer constamment d'un bief à l'autre.

On a employé fréquemment aussi les *syphons renversés*, dont l'orifice d'entrée horizontal est dans le radier des chambres des portes, et dont les orifices d'évacuation, également horizontaux, se trouvent dans le radier du sas, et dans le radier d'aval de la chambre d'écluse d'aval. Mais ce moyen, très-lent à cause des sinuosites du syphon, de son diamètre nécessairement faible, a tous les inconvénients du précédent et même à un plus haut degré; de plus les orifices d'introduction et d'évacuation peuvent être facilement envasés et obstrués, et la manœuvre d'ouverture des tampons ou clapets peut être même empêchée par ce motif. Enfin le poids de la colonne d'eau à soulever pour l'ouverture, représente une résistance au moins triple de celle qu'oppose le frottement des ventelles. Figures 432 des planches

Au canal du Centre on a fait déboucher le syphon de la chambre d'amont dans une voûte sous le mur de chute; cette disposition ne diminue les inconvénients précédents qu'en affaiblissant la résistance du mur de chute et du busc des portes d'amont. Feu M. l'Ingénieur Girard avait proposé pour le canal de Soissons des bondes *flotteurs* qui auraient considérablement réduit la résistance au soulèvement. Figures 433 des planches. Figures 434 des planches.

On a proposé des syphons ordinaires amovibles posés à cheval sur le haut des portes : mais ces moyens sont très-lents, surtout dans les derniers temps de l'introduction et de l'évacuation de l'eau; et la moindre fissure les mettrait en défaut. Figures 435 des planches.

La réduction de hauteur des murs de chute diminue l'un des inconvénients reprochés aux ventelles des portes d'amont; et l'on peut pour ces portes hâter le remplissage en laissant leur bord supérieur *amovible comme une hausse*; car en élevant ou rabattant ces hausses lorsque le sas est presque plein, il acheverait de se remplir presque instantanément. Au canal latéral à la Loire, on a donné aux ventelles pour largeur tout l'intervalle entre le poteau-busqué et le poteau-tourillon, en sorte qu'un débouché de 2 mètres de hauteur suffit pour remplir les sas.

RÉSUMÉ DE LA VINGT-NEUVIÈME LEÇON.

FERMETURES D'ÉCLUSES EN BOIS ET EN MÉTAL. — SYSTÈME D'EXÉCUTION DES ÉCLUSES. — PONTS FIXES ET MOBILES. — RENCONTRES D'UN CANAL AVEC DES COURS D'EAU. — PONTS CANAUX — PONTS AQUEDUCS. — PASSAGES EN RIVIÈRE. — REMPLISSAGE ET VUIDANGE DES BIEFS.

Fermeture des écluses. Le système le plus généralement usité aujourd'hui pour la fermeture des écluses, est celui de vantaux tournant sur des axes verticaux. Il a le grand avantage de n'opposer à la manœuvre que des frottements circulaires et de deuxième espèce, et d'exiger le minimum de maçonnerie.

On a employé d'abord : des vannes ou des poutrelles comme celles des pertuis de navigation en rivière, qu'on élevait par des appareils sur échafaudages; puis des tabliers tournant autour d'axes horizontaux placés dans le radier; quelquefois des portes roulantes entrant dans des rainures transversalement réservées dans la maçonnerie des bajoyers. Les portes étaient alors guidées dans leur manœuvre par des roulettes en bois et des coulisses amovibles dans le haut. Mais tous ces procédés, depuis longtemps abandonnés, opposaient comme résistances tantôt les poids mêmes des fermetures, tantôt des frottements de première espèce.

Portes d'écluses Les portes d'écluses à un seul vantail et à deux vantaux présentent un cadre en bois ou en fonte composé d'un poteau vertical qui n'est mobile que sur lui-même, et qu'on nomme poteau *tourillon* (la partie attenante des bajoyers se nomme *chardonnet*); d'un deuxième poteau mobile avec le cadre, qu'on nomme poteau *busqué* ou *délardé* dans les portes à deux vantaux. Entre ces poteaux sont des traverses horizontales ou *entretoises*, et généralement des pièces diagonales nommées *bracons*, s'élevant du poteau tourillon vers le poteau busqué; enfin un bordé plus ou moins épais est cloué sur les entretoises, calfaté et quelquefois doublé en zinc ou en cuivre. Il a pour objet d'empêcher le passage de l'eau quand la porte est fermée. Le bordé est par rangées ou *virures*, tantôt horizontales, tantôt verticales, ou inclinées comme les bracons et remplissant alors les mêmes fonctions que lui. Enfin une armature en fer ou en cuivre lie le pied du

poteau *busqué* au haut du poteau tourillon, et est disposée de manière à pouvoir en agrandir ou en raccourcir l'intervalle. Elle a pour objet d'empêcher le vantail de *baisser du nez*, suivant l'expression vulgaire. Figures 436 des planches.

Le poteau tourillon pivote dans le bas sur une crapaudine conique et en métal qu'il porte, et dans laquelle s'engage un tenon ou mamelon également métallique, saillant sur le radier du chardonnet. Dans les anciennes écluses c'était l'inverse : la crapaudine était dans le radier, et le mamelon dans le bas du poteau tourillon ; en sorte que cette dernière se remplissait de dépôts, et donnait lieu à des frottements considérables.

Le poteau tourillon est tenu dans le haut par un collier métallique à charnières, dont la partie fixe ou la *fourchette* est reliée par des tirants en fer à la maçonnerie des bajoyers.

Pour diminuer le frottement de ce collier contre la porte, M. Gauthey avait implanté un axe de fer cylindrique dans le haut du poteau tourillon. Mais il en résultait que lorsqu'on se servait de flèches pour ouvrir les portes, le poteau tourillon découpé par le tournant du collier, n'opposait d'autre résistance que celle de l'axe en fer ; et que cet axe lui-même pouvait se tordre et se briser, si les vantaux étaient arrêtés sur le radier par quelque obstacle. Figures 437 des planches.

On obviait à cet inconvénient en plaçant l'axe de rotation en dehors du poteau tourillon, comme pour les gonds des portes et fenêtres ordinaires ; mais cette disposition forçait d'allonger les enclaves. Figures 438 des planches.

Lorsqu'on ne se sert pas de flèches pour ouvrir les portes, et que les poteaux tourillons ne s'élèvent pas au-dessus du couronnement de l'écluse, on peut adopter le système d'un axe en fer formant *mamelon*, sur le haut des poteaux tourillons, tel qu'il a été employé au canal Saint-Denis.

Les tirants de retenue des colliers sont ordinairement au nombre de deux : l'un dans le sens de la porte ouverte et s'éloignant toutefois du parement du bajoyer; l'autre dans le sens de la porte fermée. Les tirants terminés par des pattes de manière à saisir le plus grand volume possible de maçonnerie, sont liés au collier à l'aide de clefs ou de vis à écroux qui permettent de poser ce dernier avec toute la précision nécessaire.

La forme *relative* et l'exécution du chardonnet en pierre et du poteau tourillon exigent beaucoup de soin pour éviter les filtrations. Comme la pierre en contact avec le bois et le fer, intercepte mal l'eau, l'on a exécuté quelquefois en bois la partie verticale du chardonnet, en l'encastrant alors dans la maçonnerie.

Le problème à résoudre, c'est d'avoir le moins de frottements possible dans la manœuvre des portes, et le plus d'imperméabilité possible lorsqu'elles sont fermées. On a proposé à cette fin la disposition indiquée fig. 439 des planches.

Figures 439 des planches.

La charge d'eau allant en croissant du haut vers le bas, la résistance de la charpente de la porte doit aussi aller en augmentant dans le même sens. On y parvient en rapprochant de plus en plus les entretoises vers le bas, et en augmentant à la fois leur dimension en hauteur. Dans les écluses de navigation ordinaires qui ont de 5ᵐ,20 à 8 mètres de largeur de passage, on peut former les entretoises avec des pièces de 25 à 30 centimètres d'équarrissage au plus. Pour des vantaux plus larges on serait conduit à des entretoises d'un équarrissage difficile à trouver d'un seul morceau, mais qu'on réaliserait par plusieurs pièces réunies à entailles dans le sens de l'épaisseur de la porte.

L'entretoise inférieure doit avoir au moins 0ᵐ,20 de jeu entre elle et le radier de la chambre des portes pour ne pas être arrêtée par les dépôts de terres et autres.

Vantaux courbes.

En Angleterre, on a exécuté, particulièrement pour les écluses d'une grande dimension, des vantaux de portes à section horizontale curviligne. Ils ont l'avantage sur les portes pleines, à égalité de saillie du busc, de procurer la même résistance avec un moindre volume de bois, et partant de rendre les portes plus légères et plus faciles à tourner. Mais la rareté et le prix des bois *courbes naturellement* est une objection assez grave contre ce système, qui de plus force d'avoir des enclaves curvilignes dans les bajoyers. D'après le mémoire de M. Barlow, dont la traduction se trouve dans l'appendice nº 1 de ce volume, la courbure la plus avantageuse serait *théoriquement* un arc de cercle passant par les points de rotation et par le sommet du busc. Mais dans la pratique, M. Barlow conseille de dévier de ces formes, et de préférer la forme de demi-arcs ogives dont le point d'*abuttement* serait à 0ᵐ,30 à 0ᵐ,45 au-delà de l'arc de cercle ci-dessus. On renvoie à cet appendice pour plus de détails.

Les divers effets qu'éprouvent les poteaux busqués et les entretoises, lorsque les portes viennent choquer contre le busc ou les enclaves, ou lorsqu'on veut les ouvrir sous une certaine charge d'eau à l'amont, exigent qu'outre les assemblages ordinaires les entretoises soient reliées avec les poteaux par des ferrures plates, nommées *étriers ou équerres*, entaillées ordinairement dans l'épaisseur du bois, et maintenues par des boulons à

vis et écroux. On a soin que les parois des vantaux qui retombent sur les enclaves ne présentent aucun relief d'écroux qui empêcherait les vantaux de se rabattre complétement. Le poteau tourillon doit être de plus *fretté* dans le bas. Figures 440 des planches.

Pour soulager les poteaux busqués et tourillons des portes d'une grande ouverture, l'on a quelquefois placé des roulettes au pied des premiers; mais la manœuvre en était presque toujours empêchée par des dépôts sur les radiers, et l'on y a renoncé; ces roulettes avaient du reste toutes été exécutées sur des diamètres beaucoup trop faibles.

La communication s'établit d'une rive à l'autre de l'écluse au moyen de planches; on place à cet effet des consoles saillantes, en bois ou en métal, sur les poteaux tourillons et busqués en dessus du niveau du couronnement des bajoyers.

On renvoie du reste aux deux *Collections lithographiques de l'école des ponts et chaussées*, pour les détails de construction d'un grand nombre de portes d'écluses en bois.

L'on insistera seulement en finissant sur l'avantage qu'il y aurait à revêtir les vantaux sur leurs deux parois verticales d'un bordé imperméable, lequel, transformant en quelque sorte *en flotteurs* les compartiments verticaux entre les entretoises, rendrait les portes moins pesantes, et par conséquent plus lentes à se détraquer et plus faciles à la manœuvre.

Quand les vantaux des portes doivent avoir une grande hauteur qui les rendrait très-lourds et difficiles à manœuvrer, on peut les recouper sur le haut en deux étages, ainsi qu'il a été dit déjà pour la canalisation des rivières, et de manière que le haut des portes inférieures serve de seuil au bas des portes supérieures (voir la notice sur l'écluse de Beaucaire déjà citée). Même pour faire franchir les écluses par des bateaux à vapeur; le rang supérieur des portes pourrait être plus large que le rang inférieur, moyennant une retraite correspondante dans les bajoyers des chambres des portes. Ce système avait été appliqué, en 1805, à l'élargissement de la vieille écluse de Flessingue, par MM. les Ingénieurs Sganzin et Lamblardie fils. Figures 378 des planches. Figures 441 des planches.

Les ventelles pratiquées dans les portes doivent fermer hermétiquement et être faciles à manœuvrer; elles doivent de plus donner le *plus grand débouché possible à l'eau* afin de diminuer le temps du remplissage du sas, surtout dans les dernières périodes de l'opération. Cette dernière condition exige au moins 1 mèt. à $1^m,20$ de largeur sur $0^m,40$ à $0^m,50$ de hau- Ventelles des portes d'écluse.

teur. Dans la plupart des portes des écluses récemment exécutées, on a donné aux ventelles pour largeur, presque toute la distance entre le poteau busqué et le poteau tourillon.

Dans les portes d'amont le seuil de leur débouché doit être au niveau du radier du busc; mais comme le sas est toujours rempli à la hauteur du niveau des eaux dans le bief inférieur, le seuil des ventelles des portes d'aval n'a besoin que d'être placé à ce dernier niveau.

L'orifice des ventelles est ordinairement percé vers le milieu de la largeur des vantaux; il y aurait des inconvénients faciles à prévoir à le porter uniquement vers le poteau tourillon, ou vers le poteau busqué. Les ventelles anciennes étaient en bois; et les coulisses où elles glissaient verticalement étaient en saillie sur le parement des vantaux: de là la nécessité d'augmenter la profondeur des enclaves des bajoyers. On leur substitue aujourd'hui des cadres en fer forgé ou en fonte donc revêtus de tôle; et les coulisses elles-mêmes sont métalliques. Le mouvement d'ascension est donné par un petit cric à simple ou double effet, ou à vis sans fin qui agit sur une tige verticale à crémaillère, en fer ou fonte fixée à la ventelle. En Angleterre, pour diminuer la résistance au soulèvement de la ventelle, on établit un contre-poids à bascule équivalant au poids de cette fermeture, et à son frottement quand elle n'est pas chargée par l'eau.

Figures 441 des planches.

Figures 443 des planches.

En Angleterre aussi, on a donné aux orifices d'écoulement une forme trapézoïdale, et la ventelle est un plan tournant dans le plan des vantaux des portes, autour d'un axe horizontal, analogue aux *œils* des portes de *poêle*. Le mouvement de rotation est déterminé comme à l'ordinaire par un cric.

Figures 444 des planches.

Manœuvre des portes d'écluse.

Le moyen le plus simple de manœuvrer les portes d'écluses de grandeur ordinaire ($5^m,20$ à $7^m,80$ de largeur entre les bajoyers) est l'emploi des leviers horizontaux, nommés *bascules ou flèches*, assemblées sur les poteaux tourillons et busqués, à la hauteur d'environ 1 mètre audessus du terre-plein des bajoyers. L'on donne à ces flèches une longueur égale à celle des vantaux, et souvent on charge leur extrémité d'un contrepoids pour diminuer les frottements contre les colliers. Mais dans les écluses accolées, dans les écluses à portes de flot, et même dans les écluses ordinaires lorsqu'il y a des ponts fixes ou mobiles qui traversent les bajoyers, on ne peut plus faire usage de ce moyen.

Figures 436 des planches.

On y supplée alors, 1° par de longues perches nommées *béquilles*, armées de crochets qui viennent saisir les poteaux busqués, et que l'éclusier tire à lui ou pousse directement par l'intermédiaire d'engrenages. Ce mouvement

est d'autant plus facile que le poteau tourillon est plus *excentré* ; 2° par un double jeu de poulies et de points fixes l'un pour ouvrir, l'autre pour fermer ; 3° par des treuils ou cabestans ; 4° enfin par des engrenages fixés sur les bajoyers. Figures 445 des planches.

Ces divers moyens facilitent l'ouverture des portes avec la force d'un seul homme, mais sont en même temps très-lents ; et il serait désirable, surtout aux écluses où la manœuvre se fait fréquemment, et où les bateliers en grand nombre peuvent aider l'éclusier, qu'il y eût un système d'ouverture se prêtant à volonté à l'emploi d'une grande force agissant en peu de temps.

Quand on se sert de cordes ou de chaînes pour l'ouverture des portes, on est maître de leur point d'attache, et il est convenable pour ne pas faire gauchir les vantaux (surtout si l'on veut ouvrir sous une petite charge d'eau), de fixer ces cordes de traction à la moitié de la hauteur des vantaux et même un peu au-dessus, à cause des vases, pierres et autres dépôts qui arrêtent souvent la rotation des portes.

Le fréquent renouvellement des portes en bois, qui ne durent guère plus de quinze ans, leur détraquement avec le temps et les pertes d'eau qui en résultent, ont depuis quelques années fait essayer des vantaux entièrement ou en partie métalliques, soit en fonte de fer, soit en fer forgé, soit enfin avec combinaison de ces deux matières. Au canal Calédonien, la rareté et le prix élevé du bois, ont été le principal motif de son remplacement par la fonte dans les portes d'écluses. Ces portes, de 9m,14 de haut, et de 6m,71 de largeur de vantail, pèsent en tout plus de 10,600 kil., et sont ouvertes et fermées par deux hommes. Portes métalliques en tout ou en partie.

Dans l'eau douce et loin de l'air salin des côtes maritimes, les métaux s'oxident peu. La fonte de fer d'ailleurs a le grand avantage de prendre les formes d'égale résistance avec un minimum de poids ; mais elle est quelquefois cassante par le froid et résiste peu aux chocs directs. Le fer forgé présente beaucoup plus de flexibilité, mais il coûte plus ; son ajustage est plus dispendieux et son défaut de rigidité fait ouvrir les joints du doublage.

On a coulé en Angleterre des portes en fonte d'un seul jet ; en France on a employé la fonte par panneaux, comprenant plusieurs entretoises. Les entretoises exécutées en tuyaux creux réaliseraient du reste le système de flotteurs, dont on a indiqué les avantages en parlant des portes en bois. Figures 446 des planches.

En Angleterre et en Suède, ainsi qu'on peut le voir dans les voyages

en Grande-Bretagne, de M. le baron Charles Dupin, dans l'historique du canal Calédonien, et dans les articles sur le canal de Gothie, insérés aux *Annales des ponts et chaussées* de 1832 et 1834, on a conservé le bois pour le bordé. Au canal du Nivernois on l'a remplacé par des plaques en tôle. (Lire l'article publié sur cet objet par M. l'Ingénieur en chef Poirée, dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1834.) Le prix élevé auquel ressortent encore la fonte et le fer forgé en France, relativement au bois, retarde une substitution qui a d'ailleurs besoin de la sanction de l'expérience.

Figures 447 des planches.

Feu M. Bruyère, Inspecteur général des ponts et chaussées, avait fait exécuter des portes d'écluses avec bâtis en fer forgé de 6 à 7 centimètres, assemblés par des rosaces et recouverts par deux plans de bois croisés. L'épaisseur totale était de 20 centimètres. (Voir le recueil des ouvrages de M. Bruyère.)

Figures 448 des planches.

Ouvrages accessoires aux écluses.

On place sur les terre-pleins des bajoyers des pierres isolées, dans lesquelles on creuse une demi-sphère, et l'on scelle des croisillons de fer pour accrocher les gaffes, et amarrer les cordes des bateaux. Dans le même but on encastre des arganeaux à scellement sur les rives du couronnement des bajoyers.

Pour empêcher les bateaux de frapper les portes d'amont en arrivant, ou celles d'aval par la chute de l'eau des ventelles, on engage aussi des poteaux en bois ou en fonte sur les terre-pleins des bajoyers et autour desquels on enroule une corde jetée du bateau; enfin, dans les traversées des villes, comme par exemple à Paris au canal Saint-Martin, on a établi contre les bajoyers du sas, des échelons verticaux en fer, afin de donner le moyen de remonter aux personnes qui seraient tombées dans le sas, et de faciliter d'ailleurs les visites et réparations des écluses.

Les terre-pleins des bajoyers, dans les écluses isolées, sont de niveau avec les chemins de halage du bief amont; mais à raison de la chute des écluses, il faut des rampes pour raccorder ces chemins avec ceux du bief inférieur. Ces rampes peuvent commencer à la tête d'amont de l'écluse, ou vers le milieu de la longueur, ou à la tête d'aval. Dans les deux premiers cas, elles laissent plus haut qu'elles les *terre-pleins riverains* des bajoyers; l'on garantit alors la partie découverte de ceux-ci par des murs ou pérés, et l'on accède à leurs plates-formes par des rampes horizontales ou par des escaliers établis près du mur en retour de la tête de la chambre d'écluse d'aval. Dans le troisième cas on prolonge les pérés du bief aval jusqu'à la crête rampante du raccordement incliné.

Figures 422 des planches

La figure 422 des planches, indique aussi l'un des systèmes de raccordement de terre-pleins employé pour les écluses à sas accolés. Figures 422 des planches

Lorsque les écluses sont rapprochées, on n'a qu'un seul éclusier et qu'une seule maison d'éclusier pour deux écluses; on la construit au milieu du terre-plein des bajoyers ou au sommet des rampes qui s'y rendent. Leur construction très-simple ne doit présenter que deux chambres, un four, un caveau, un petit grenier, et quelquefois un magasin pour bois, cordages, clous et autres objets nécessaires aux opérations. Maisons d'éclusier. Figures 449 des planches.

La construction des écluses et de leurs fondations est assujétie aux règles générales qu'on a présentées dans la treizième leçon; mais cette construction doit de plus s'opposer aux filtrations de l'amont à l'aval, surtout dans les écluses à grande chute et dans les écluses à sas accolés. On a déjà indiqué sommairement, pour les écluses de navigation en rivière, les moyens de satisfaire aux conditions ci-dessus. Système d'exécution des écluses.

Sur un terrain de rocher qui ne présente aucunes fissures, on pourrait se dispenser de maçonner le radier et se borner à enraciner dans le rocher, sur $0^m,70$ à 1 mètre de profondeur, les fondations du mur de chute, celles des bajoyers et murs en retour de la chambre d'amont et d'aval, afin d'intercepter les communications de l'eau. Mais si le rocher est fissuré, cette précaution ne suffit plus, et les radiers maçonnés doivent avoir l'épaisseur correspondante aux charges d'eau habituelles de bas en haut quand le sas est vide, et de haut en bas quand il est plein pour le passage des bateaux.

Si le sol est résistant mais affouillable, il faut battre des rangées de palplanches aux deux têtes amont et aval de l'écluse, et même quelquefois sous le busc. Il faut de plus établir les maçonneries sur une aire générale en béton qui présente en dessous des reliefs ou *tenons* nombreux transversalement à l'axe de l'écluse, particulièrement aux têtes et sous le busc, pour interrompre la marche des eaux entre le dessous du béton et le dessus du terrain. C'est le système proposé pour l'écluse de jonction du canal latéral de la Loire avec cette rivière. Figures 450 des planches.

Si le sol est compressible, mais qu'à une certaine profondeur on puisse trouver le rocher et qu'on ne veuille pas fouiller jusque-là, il faut recourir aux pilotis en bois avec grillages en bois; et peut-être même, si le terrain n'est pas perméable, employer les pilotis en sable essayés à Bayonne. Figures 86 des planches.

(Voir la Notice sur les fondations en sable insérée aux *Annales des ponts et chaussées* de 1835.)

Les piliers en sable pourraient être remplacés avec avantage pour les terrains perméables, par des piliers en béton coulé dans le vide que laisserait le forage opéré avec des pilotis en bois; et alors le grillage serait lui-même remplacé par une aire unique en béton.

Dans l'emploi de pilotis *permanents* en bois avec grillage, il faut éviter qu'il y ait des pièces longitudinales dans le sens de l'axe de l'écluse; ou il faut au moins isoler leurs extrémités de l'eau des biefs, par des enveloppes en maçonnerie de béton. Les rangs transversaux de palplanches sont d'ailleurs nécessaires ici comme dans les terrains précédents.

Si le terrain est compressible à une profondeur presque indéfinie, mais qu'il soit en même temps homogène, on peut lui donner une résistance artificielle, 1° en le chargeant d'un poids beaucoup plus considérable qu'il n'aura à supporter, et en disposant les travaux de manière qu'il n'y ait pas de lacunes entre la charge d'essai et la charge permanente; 2° en le comprimant par le battage en petits pieux déjà indiqué précédemment. Mais les rangées de palplanches transversales ne suffisent plus alors pour empêcher l'isolement de l'enceinte de fondation des terrains environnants, et il faut de plus deux rangées de palplanches longitudinales ou même de pieux jointifs sur les rives de l'écluse. Pour prévenir les filtrations, les rangs transversaux de palplanches doivent dépasser de beaucoup les rangs longitudinaux; et l'aire générale en béton qu'on étendrait sur l'enceinte, aurait besoin d'une grande épaisseur et de nombreux rédans en dessous.

Figures 451 des planches.

Si le terrain est inégalement résistant ou compressible, et à une profondeur indéfinie, ce qui est le cas le plus compliqué, il faut y déterminer l'égalité de résistance par des charges et des battages de pieux de compression convenablement répartis; renforcer également l'aire de béton et l'asseoir sur de doubles grillages en bois, en ayant toujours soin d'isoler ceux-ci de l'eau par des enveloppes en maçonnerie de béton.

Exécution des écluses par batardeaux ou par caissons.

L'exécution des écluses peut se faire également par batardeaux, ou par caissons, et ces batardeaux peuvent être en terre, en bois, ou en béton; les caissons peuvent être foncés ou non foncés.

Le système de fondations sur caissons foncés ou non foncés, exige que déjà le bief où l'écluse doit être construite, soit plein d'eau et étanché; et qu'il présente des gares pour la construction et l'échouage de la char-

pente flottante. L'échouage d'un caisson foncé, malgré tous les soins possibles, peut laisser des vides entre le dessous de la charpente et le terrain naturel ou l'assiette de fondation. Les bois mêmes de cette charpente peuvent servir de conducteurs d'eau. (Voir dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1831, l'historique de la fondation sur caisson de l'écluse de Froissy.) Il faudrait donc n'employer que des caissons non foncés; mais ceux-ci ne remédieraient pas aux sources de fond, et ne feraient que l'office d'un batardeau ordinaire, lequel serait beaucoup moins dispendieux.

Le système qui paraît mériter la préférence dans un terrain où il y a des épuisements considérables à faire, et dans lequel le mode de fondation adopté consiste dans une aire en béton; c'est comme on l'a fait au canal du Rhône au Rhin (figures 450 des planches), de couler cette aire sous l'eau, et d'y joindre des corrois verticaux en béton qui fassent partie ultérieurement de l'intrados des maçonneries des bajoyers, enclaves, murs en retour, etc. Alors il n'y a plus à démolir après l'achèvement de l'ouvrage que les parties correspondantes aux deux têtes de l'écluse, si toutefois on n'avait pas jugé préférable de les exécuter en batardeaux ordinaires. Figures 450 des planches.

Cette espèce de caisse en béton doit présenter d'ailleurs un poids capable de faire au moins équilibre à la charge d'eau en contre-bas, et par sa masse totale et par la résistance de sa paroi horizontale.

Ce système de fondation a été l'objet d'observations fort importantes que MM. les Ingénieurs Beaudemoulin, Charrié, Mary et Barré-Saint-Venant, ont consignées dans des mémoires publiés isolément ou insérés dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1832 et 1833.

M. l'Ingénieur en chef Beaudemoulin a le premier, dans un mémoire publié en 1828, sous le titre de *Recherches théoriques et pratiques sur les fondations des ouvrages hydrauliques*, signalé les effets des sources de fond très-énergiques qui, retenues par la compression du terrain, étaient mises à nu par les tranchées des fouilles, et alimentaient, *sans mouvements apparents*, la nappe d'eau intérieure déjà en communication avec les sources ordinaires. Effets des sources de fond.

Partant de ce principe que, dans un terrain sillonné par des fissures, l'eau s'échappait toujours par la voie où elle rencontrait le moins d'obstacles, M. Beaudemoulin a indiqué comme moyen de se débarrasser de ces sources de fond dans les terrains ordinaires, le creusement à l'extérieur de l'enceinte, de puits que par analogie il a appelés puits *artésiens*. Ces Figures 452 des planches.

puits, surtout si on y appelle l'eau par l'aspiration d'une pompe, servent de débouché aux sources de fond.

Pour les terrains crayeux où les fissures souvent ne communiquent pas entre elles, cet Ingénieur indique d'autres modes d'appel des eaux dans le mémoire qu'on a cité.

Si l'on ne parvient pas à dévier à l'extérieur les sources du fond, il peut arriver qu'elles se fassent jour par une foule de petits tuyaux à travers les maçonneries de fondation, et que ces tuyaux deviennent en même temps des conducteurs d'eau du bief supérieur.

Divers moyens ont été proposés pour remédier à cet inconvénient extrêmement grave. Un des plus efficaces paraît être l'immersion préalable au bétonnage, de plusieurs couches de toile imperméable que l'on force à se mouler en quelque sorte sur les reliefs et creux du terrain à l'aide de rouleaux ou autres appareils. On laisse de plus sous les maçonneries du radier et même des bajoyers, de petits conduits ramifiés convenablement *munis d'évents* pour l'air et l'eau. Ces conduits communiquent avec les surfaces apparentes du radier par des tuyaux verticaux, dans lesquels on jette, après l'achèvement de l'écluse, du mortier liquide avec des pompes à piston. Cette injection s'opère d'après le système imaginé par M. Bérigny, inspecteur général des ponts et chaussées, et décrit précédemment.

Les remblais en arrière des maçonneries des écluses exigent une terre argileuse et liante, damée par petites couches, mais avec des pilons *fortement dentelés*. Pour qu'elle se lie mieux aux maçonneries encore fraîches, il faut élever les remblais en même temps que celles-ci.

Ponts fixes ou mobiles sur les canaux.

Les canaux interrompent beaucoup de communications de routes royales, départementales, et surtout vicinales et rurales; de là la nécessité d'un grand nombre de ponts qui sont généralement d'une seule travée, et présentent un débouché suffisant pour le passage des bateaux les plus chargés en hauteur. On donne en conséquence aux ponts, indépendamment du passage pour les chemins de halage, la même largeur minimum entre les culées que celle de l'écluse augmentée de 50 centimètres à 1 mètre, et la même hauteur de $3^m,50$ près des culées, au-dessus de l'eau, qu'aux passages souterrains. Au canal Saint-Denis on a même porté cette hauteur à 6 mètres.

Il est de beaucoup préférable pour la navigation que les chemins de halage et marche-pieds soient sous l'arche unique du pont, sauf à les

réduire, l'un à 1 mètre, l'autre à 2 mètres, que de contourner ces ponts.

S'il devait en résulter une dépense considérable pour le pont, et surtout un exhaussement impraticable dans certaines localités, l'on serait forcé d'établir, outre les deux rampes d'accès pour la route ou le chemin jusqu'au pont; lesquelles seraient transversales au canal, quatre rampes longitudinales au canal pour les raccordements des deux premières avec les chemins de halage et marche-pieds de chaque rive, entre les biefs d'amont et d'aval. Pour diminuer la dépense de ces rampes, et éviter les reliefs qu'elles élèvent dans les plaines riveraines d'un canal, on a proposé de se borner aux simples rampes de raccordement longitudinales des chemins de halage et de marche-pieds, mais en les élargissant pour le passage des voitures, dans le coude brusque qu'elles ont alors à franchir aux abords du pont. Dans ce système, les routes et chemins sont déviés de manière à aboutir au pied des rampes longitudinales en question.

Figures 422 des planches.

Figures 453 des planches.

La largeur de la voie des ponts est réglée d'ailleurs d'après les mêmes conditions que celle des ponts sur les rivières.

On a déjà dit qu'il pourrait y avoir de l'économie à placer les écluses dans le croisement du canal par les chemins existants, ou à dévier légèrement ces derniers pour les faire aboutir à l'écluse en aval des portes d'aval. On profite ainsi des murs d'épaulement de ces portes qu'on prolonge au besoin. Le pont est alors élevé au-dessus des terrains environnants de toute la hauteur de la chute de l'écluse; mais cette position des ponts gêne la manœuvre des portes et celle des bateaux.

Quand elle n'est *pas possible*, il vaut mieux isoler entièrement les ponts et l'écluse pour que les bateaux puissent être manœuvrés plus aisément à la sortie de cette dernière.

Ces ponts s'exécutent d'ailleurs comme les ponts sur rivières, en maçonnerie, avec charpente fixe en bois, en fer, et même peuvent être suspendus.

Quand la dépense d'un pont fixe et de ses abords, y compris l'entretien et le renouvellement, est plus forte que la dépense analogue d'un pont mobile augmentée du capital représentatif du salaire d'un pontonnier; ou bien quand les localités s'opposent entièrement à l'établissement d'un pont fixe, l'on a recours aux ponts mobiles dont il a été question dans un chapitre précédent. Il est également avantageux de les placer sur les épaulements d'aval des écluses, parce que l'éclusier peut aider à leur manœuvre et que le même logement peut réunir deux agents. Ordinairement

on préfère les ponts-levis en ayant égard, dans leur construction, à la hauteur des voitures de campagne chargées de récoltes.

Il est utile aux abords des ponts isolés, fixes ou mobiles, de réserver dans leurs culées comme dans les bajoyers des écluses, 1° des feuillures pour recevoir des poutrelles en cas de réparation des ponts et des biefs qu'ils traversent ; 2° des arganeaux pour faciliter les manœuvres des bateaux.

Rencontres d'un canal et de cours d'eau qui se croisent.

Un canal placé sur le revers d'un coteau ou traversant des vallons, rencontre des cours d'eau d'importance diverse et qui forcent de prendre l'un des partis suivants :

1° Faire passer les cours d'eau par-dessus le canal; 2° faire passer le canal par-dessus le cours d'eau ; 3° faire traverser le canal par le cours d'eau, ou établir la navigation à travers le cours d'eau.

Cours d'eau passant par-dessus les canaux.

Ce mode est très-praticable quand les cours d'eau, encore peu éloignés de leurs sources, ont de fortes pentes, charrient des sables, graviers et troubles, et sont sujets à de fortes crues. On ne pourrait en effet admettre ces eaux étrangères dans le canal, sans s'exposer à de prompts atterrissements et sans porter des perturbations graves dans le système de la navigation. On ne pourrait non plus, dans beaucoup de cas, les faire passer en dessous à moins de relever beaucoup le canal, et de laisser un débouché considérable au cours d'eau transversal ; car il arriverait sans cela que le canal ferait l'effet d'un barrage, qu'il y aurait des submersions considérables sur un de ses côtés, et que lui-même serait exposé à des avaries très-graves.

Ponts-aqueducs.

L'ouvrage par lequel on conduit des eaux transversales au-dessus d'un canal se nomme pont-aqueduc. Il a beaucoup d'analogie avec les viaducs dont il a été question plus haut. Toutefois ici les chemins de halage et marche-pieds du canal doivent nécessairement être conservés sous le pont-aqueduc; car les levées des bords de la rivière interrompent complétement la communication entre les biefs supérieur et inférieur du canal. Ces chemins peuvent être aussi au reste réservés le long du canal ou déviés pour passer sous des arches marinières, comme dans les ponts ordinaires en maçonnerie.

Figures 454 des planches

Au-dessus des voûtes ou travées en bois ou en fer du pont-aqueduc, il faudra donc, au lieu de la voie ordinaire d'une route, établir une voie

d'eau dont la pente et la section dépendront du maximum du volume des eaux à conduire, et des besoins du flottage ou de la navigation, lorsque le cours d'eau sera flottable ou navigable. Sur les rives il y aura à ménager, soit des marche-pieds d'au moins $0^{m},80$ de largeur avec parapets, soit des chemins de halage de 2 à 4 mètres, suivant que cette opération sera confiée à des hommes ou à des chevaux. Toutefois on pourrait au besoin renoncer à ces chemins en faisant touer les bateaux du cours d'eau navigable, pendant la traversée du pont-aqueduc.

Pour la prompte évacuation des crues, il sera utile d'établir un déversoir de superficie ou de ventellerie de fond sur le cours d'eau avant ou après la traversée du pont-aqueduc, et à une distance du canal telle que les eaux des crues évacuées ne puissent par leur écoulement, causer des avaries aux ouvrages du canal.

Il est du reste économique, quand cela est possible, de placer les ponts-aqueducs comme les ponts fixes sur les murs d'épaulement des écluses.

La principale difficulté des ponts-aqueducs consiste dans l'imperméabilité de l'encaissement de la voie d'eau. Si le volume d'eau à conduire est faible, on peut se servir de tuyaux fermés en fonte de fer, plomb, zinc, poteries, etc.; mais si l'on est forcé de l'exécuter sur une grande dimension et à découvert, alors des parois en maçonnerie ou en fonte de fer deviennent indispensables, et la condition essentielle est d'éviter des tassements qui détermineraient des fissures, et les dégradations que les infiltrations par ces fissures causeraient dans les arches en maçonnerie, travées en bois, etc., etc.

Si le canal est très-relevé relativement aux cours d'eau, de manière qu'on ne soit pas forcé de trop restreindre leur pente et qu'on n'ait rien à redouter de leurs crues, on conduit les eaux sous le canal. Lorsqu'il ne s'agit que de faibles ruisseaux qui ne charrient pas de troubles, on peut les diriger en pente sous le fond du canal, et même en arrasement avec ce fond, comme au canal Saint-Martin, à l'aide de tuyaux en bois, en fonte de fer, plomb, zinc, poterie ou maçonnerie, et en suivant les procédés indiqués pour ce genre d'ouvrages.

Cours d'eau passant sous les canaux.

Figures 565 des planches.

S'il est impossible de diriger la conduite d'eau en pente sous le canal, on l'établit, comme au canal du Midi, à *syphon et contre-pente*. L'entrée de ces syphons est alors dans le contre-fossé d'eau des rives du canal, et leur sortie dans le contre-fossé de l'autre rive : mais ces syphons sont

Figures 456 des planches. difficiles à visiter et réparer; ils s'engorgent et ne peuvent se nettoyer. Leur emploi doit donc être limité à des eaux limpides naturellement, ou clarifiées dans les contre-fossés avant leur passage dans le syphon.

Ponts-canaux. Pour les cours d'eau plus considérables, il faut établir le canal sur un *pont-canal*, dont la grandeur, l'importance et la dépense de construction dépendent de la largeur, de la profondeur, du régime de la rivière à traverser. Ce genre d'ouvrage réunit dès lors toutes les difficultés que peut offrir un pont ordinaire avec celles spéciales du pont-aqueduc dont il a été question tout à l'heure. Meme l'imperméabilité de l'encaissement de la voie d'eau dans un pont-canal est commandée par un motif de plus, celui de ne pas perdre l'eau nécessaire à la navigation sur le canal.

La voie d'eau ou cuvette, pour un pont-canal, est d'ailleurs restreinte à la largeur d'un seul bateau, et en général à 30 à 40 centimètres de plus que la largeur de passage des écluses. Suivant que l'on aurait ou non un chemin de halage sur les deux rives pour hommes et pour chevaux, ou seulement un marche-pied pour hommes, il faudrait ajouter 2 à 3 mètres, ou seulement 1 mètre de chaque côté de la cuvette.

Si le pont-canal est en maçonnerie, la cuvette ne doit être construite qu'après le décintrement, et lorsque les maçonneries ont pris tout leur tassement. Sous cette cuvette une chappe en béton est indispensable; et même on a quelquefois, dans les reins des voûtes, réservé de petits aqueducs pour évacuer l'eau des infiltrations. La figure 457 des planches représente les nouveaux ponts-canaux sur l'Allier, et sur la Loire à Digoin, exécutés avec le plus grand succès par M. l'Ingénieur Julien.

Figures 457 des planches.

L'un présente dix-huit, l'autre onze arches de 16 mètres d'ouverture sur 7 mètres de flèche. (Voir la Notice sur les maçonneries de ces ouvrages insérée aux *Annales des ponts et chaussées.*)

Le pont-canal sur l'Allier a une longueur totale de 405 mètres sur $9^{m},50$ de largeur, ou $3847^{mq},50$, dont la distance verticale au lit de la Loire est de 12 mètres, ce qui donne 46170 mètres cubes en espace *occupé*.

La dépense totale a été de 3 millions, y compris trois écluses à sas accolés sur la culée gauche du pont, ce qui correspond :

Par mètre courant à	7407 fr.
Par mètre quarré à.	77
Et par mètre cube d'espace à	$6^{f},40$

Le pont-canal de Digoin n'a que onze arches sur une longueur totale de 247 mètres; il est du reste semblable au précédent.

Il a coûté, y compris l'écluse de l'une des culées	1,200,000 fr.
Ce qui correspond par mètre courant à. .	4868
Par mètre quarré de voie à	51f,20
Et par mètre cube d'espace à	4f,30

Si la cuvette d'un pont-canal est elle-même en maçonnerie; des couches de béton seront nécessaires également à l'intrados; et il sera préférable, pour éviter les tassements inégaux et les filtrations, d'exécuter les parements de la cuvette en petits matériaux rejointoyés et même enduits en plâtre-ciment ou mastic bitumineux. Il est essentiel d'ailleurs d'introduire l'eau le plus vite possible dans la cuvette, pour éviter les effets de la dessiccation trop rapide, surtout en été.

Les figures 458 représentent la rencontre d'un chemin empierré, d'un canal, et d'un chemin de fer au canal de Birmingham et de Bristol. Figures 458 des planches.

Ce travail remarquable a été exécuté pour la somme de 192,000 fr.

En Angleterre, la cuvette d'un pont-canal a été souvent exécutée avec des plaques de fonte réunies à boulons et rivets, dont les joints étaient garnis de l'une des manières suivantes : en cuir graissé, en petites tringles de sapin, en plomb, et en mastic de limaille de fer (16 parties de limaille de fer, 1 de sel ammoniac du commerce, 1 de fleur de soufre). Ce genre de cuvette a été appliqué surtout à des ponts-canaux dont les voûtes étaient d'ailleurs en bois ou en fonte de fer, et notamment à ceux de Chirk, de Pont-Cisylty et de Longden en Angleterre. Figures 459 des planches.

Le premier de ces ponts-canaux se compose de dix arches en plein cintre de 11m,75 avec piles de 3m,65 d'épaisseur, et présente une longueur totale de 191 mètres sur 5m,60 de largeur entre parapets; la différence du niveau du chemin de halage du canal et du niveau riverain est de 19m,80.

Les aqueducs ont coûté.	544,000 fr.
Ou par mètre courant.	2850
Par mètre quarré de voie	509
Par mètre cube du produit de cette voie par la distance verticale au terrain	25

L'aqueduc du pont Cysilty se compose de 19 arches en fonte de 13^m,70 d'ouverture, avec piles de 2^m,13 de largeur au sommet; la longueur totale est de 305 mètres sur 3^m,66 de largeur, ce qui donne une surface de voie de 1116 mètres quarrés, dont la distance verticale au terrain riverain est moyennement de 30 mètres.

La dépense totale a été de	1,335,310 fr.
Ou par mètre courant	4580
Par mètre quarré de voie.	1199
Par mètre cube du produit de cette voie par la distance verticale au terrain. . .	40

Feu M. Navier, dans son Mémoire sur les ponts suspendus, a indiqué aussi l'application de ce genre d'ouvrages aux ponts-canaux et pour supporter une cuvette en fonte. Mais les oscillations de toute espèce que le passage des hommes et des chevaux, le vent et les changements de température provoquent, peuvent faire craindre des déliaisons dans les joints des plaques en fonte, et des filtrations d'eau très-graves et très-difficiles à arrêter.

Aux États-Unis, où le bois est à bas prix, l'on a exécuté des cuvettes en bois, en deux plans de bois croisés et calfatés, et sur des travées de ponts également en bois; mais la surface des bois exposés à l'air étant à la fois saturée d'eau par l'imbibition du côté de la cuvette, doit se gercer profondément et être hors de service en peu d'années; son renouvellement est donc une cause d'interruption fréquente dans la navigation.

Quand les cuvettes sont en fonte, les chemins de halage et marche-pieds peuvent être établis en planches sur des consoles en encorbellement, faisant partie des plaques de fonte ou reliées avec elles.

Pour éviter les effets de la gelée de l'eau stagnante d'un pont-canal, et de l'eau vive d'un pont-aqueduc, on peut pratiquer dans la longueur, et sur les rives du niveau de l'eau, deux tuyaux conducteurs d'air chaud ou de vapeur d'eau, et placer les foyers d'alimentation aux têtes du pont.

Cours d'eau passant à travers les canaux.

Les ponts-aqueducs, outre les difficultés et les dépenses de leur exécution, obligent souvent à tenir le canal trop bas et à descendre pour remonter ensuite; des crues extraordinaires dans les eaux conduites par cet ouvrage peuvent en s'épanchant par-dessus la cuvette, déverser sur les terrains inférieurs et y causer des dommages considérables dans les

propriétés privées et dans le canal, dont elles interrompraient la navigation. Si le cours d'eau est flottable et navigable, sa traversée par le pont-aqueduc sera une gêne permanente.

Ce dernier est d'ailleurs un long coursier où le halage pour la navigation du canal est bien plus difficile que dans les biefs ordinaires; et malgré les gares de stationnement qu'on place ordinairement près des deux têtes, il y a un retard sensible dans le trajet. Enfin les ponts-aqueducs et les ponts-canaux ont en commun l'inconvénient d'isoler la navigation artificielle de la navigation naturelle.

On peut donc être conduit par ces diverses considérations à leur préférer, suivant les sujétions générales de la navigation et celles des localités, la traversée du canal en rivière ou l'introduction des eaux de la rivière dans le canal. Mais il y aurait à opter entre les inconvénients que l'on vient de signaler dans les ponts-aqueducs et les ponts-canaux, et ceux qui sont attachés à la traversée en rivière.

Les principaux sont : d'obliger le canal de descendre sur une rive pour remonter sur l'autre; de présenter sur chaque rive des écluses de navigation submersibles dont il a été déjà question, et qui doivent pourvoir à tous les effets des dénivellations entre le niveau des eaux dans le canal et dans la rivière; d'exposer la navigation sur le canal, s'il y a des crues, à toutes les interruptions que les crues causent dans la navigation de la rivière; et de plus si celle-ci ne présente pas à l'étiage une profondeur d'eau suffisante, il faudra la réaliser par les moyens qui ont été indiqués dans le chapitre relatif à l'amélioration de la navigation sur les rivières.

Système ingénieux employé au canal du Midi pour la rencontre du torrent du Libron.

Le passage des cours d'eau dans le canal n'est guère applicable : que dans les localités où la navigation sur le canal est peu active, et aux cours d'eau qui ne sont ni navigables ni flottables, ou du moins qui ont peu d'importance sous ce rapport. Si ces derniers sont torrentiels et charrient des troubles, il est essentiel qu'il n'y ait pas de mélange avec les eaux du canal.

Au canal du Midi, pour faire passer le torrent du Libron, l'on a imaginé un système très-ingénieux : on se sert d'une espèce de barque pontée que, pendant les crues du torrent, l'on échoue sur le canal dans la direction du torrent. Les parois de cette barque transversale à l'axe du torrent, sont à charnières, et se rabattent dans le plan de son lit; tandis que les parois longitudinales qui barrent le canal et dépassent le niveau des eaux, restent debout. Quand la crue est passée, on relève les parois rabattues, on remet la barque à flot, et elle est remisée dans une gare latérale du canal, dont la

Figures 460 des planches.

navigation, interrompue ainsi momentanément, reprend alors son cours. La position invariable de la barque est assurée par des murs en maçonnerie qui sont au croisement des rives du torrent et de celles du canal.

Figures 461 des planches

Dans le département de l'Aube, M. l'Ingénieur en chef Nazeret avait établi à la rencontre du canal d'Anglure avec la *noue* du Liron servant à l'écoulement des eaux d'inondations, un système représenté dans les fig. 461 des planches. Il consiste :

1° A isoler à volonté le canal de la noue du Liron, par deux jeux de portes contre-busquées, placées à travers du canal, l'un à l'amont, l'autre à l'aval du point de croisement ;

2° A empêcher les eaux du canal de se répandre dans cette noue, par deux déversoirs ou épanchoirs de superficie à l'amont et à l'aval du même point de croisement. Cette combinaison, qui arrête les troubles en deçà de l'épanchoir, est applicable toutes les fois que le cours d'eau du canal n'est ni navigable ni flottable.

Écluses dites quarrées.

On a substitué aux combinaisons précédentes, et notamment au canal de Beaucaire, pour le passage du torrent de Vidourle un autre système d'une application plus générale, nommé *écluse quarrée*, qui a probablement été imité de l'écluse ronde d'Agde au canal du Midi.

Il consiste à établir dans le plan du croisement du cours d'eau et du canal : 1° deux écluses simples ou à sas, fermées par des vannes, poutrelles ou portes busquées placées chacune sur les rives du canal et en travers du cours d'eau, et ayant pour objet, comme le représentent les figures 462 des planches, d'empêcher les eaux du canal de s'épancher dans le lit du cours d'eau lorsqu'on veut interrompre momentanément celui-ci pour le passage du canal; 2° deux autres écluses simples ou à sas, fermées de la même manière, placées en travers du canal dans l'alignement des rives du cours d'eau, et ayant pour objet d'empêcher ce dernier de pénétrer habituellement dans le canal.

Figures 462 des planches.

On voit que cette combinaison exige que les berges du cours d'eau soient très-encaissées afin qu'il n'y ait pas de submersion riveraine lorsqu'on interrompt le passage des eaux *vives* pour le passage des bateaux du canal.

Ouvrages pour faire entrer l'eau dans les biefs d'un canal, l'en faire sortir ou l'y retenir.

Les biefs d'un canal reçoivent l'eau par des rigoles alimentaires artificielles et des affluents naturels qui interrompent le chemin du halage, et exigent des passerelles transversales en bois ou des ponceaux en maçonnerie. C'est ordinairement à la tête de ces ponts qu'on place, ou le rever-

soir par lequel les eaux affluentes doivent déverser dans le canal, ou les ventelles et poutrelles destinées à faire entrer à volonté ces eaux par *le fond*. Le premier moyen, celui des reversoirs, paraît préférable pour des affluents naturels dont les eaux charrient des troubles; parce que ceux-ci se déposent avant la jonction; mais lorsqu'il faudrait après les chômages remplir les biefs, il y aurait une chute d'eau sur le fond du canal, et contre laquelle il faut se précautionner, comme il a été dit pour les barrages en général. Figures 463 des planches.

Une ventellerie ou des poutrelles horizontales faisant fonctions de *reversoirs* pour l'introduction de l'eau habituelle lorsque les biefs sont pleins, et qui feraient entrer l'eau de fond quand les biefs seraient vides, semble le meilleur système à adopter. Une ventellerie force de se restreindre à des largeurs d'environ 1m,30 pour les passages d'eau; tandis que des poutrelles s'appliquent à des largeurs de 8 mètres, et ont été employées même jusqu'à 12 mètres.

Il faut qu'on puisse vider un bief pour les réparations; il faut aussi que les eaux n'y dépassent pas un certain niveau malgré les effets des pluies ou les crues des affluents d'eau. De là la nécessité dans chaque bief, ou dans les biefs inférieurs d'une zône plus ou moins étendue, d'avoir des moyens d'évacuation d'eau par le fond et par la surface, ou susceptibles de remplir à la fois ces deux objets. Un canal de fuite placé à la suite des ouvrages d'art, devra conduire les eaux dans le thalweg des vallées voisines; et ce canal sera franchi par le chemin de halage et marche-pied à l'aide de passerelles en bois ou de ponceaux en maçonnerie. Autant que possible, et pour que ce canal n'ait pas une pente trop rapide, il faut placer son origine amont à l'origine des remblais du canal. S'il y a des aqueducs à syphon ou autres qui passent sous le canal, il est évident qu'on peut les utiliser pour l'écoulement des eaux à évacuer.

Une ventellerie ou un barrage à poutrelles horizontales convient encore le mieux pour cette évacuation, parce qu'ils peuvent servir et pour les évacuations spontanées des crues et pour mettre facilement les biefs à sec; mais dans l'établissement de ces ouvrages il faut avoir soin, 1° du côté du canal, à ce que l'affluence des eaux ne dégrade pas les rives, en se portant sur leurs points de jonction avec les maçonneries ou parois fixes de la ventellerie des poutrelles; 2° du côté du canal de fuite, que la chute des eaux ne soit pas trop élevée, qu'elle soit morcelée par gradins; qu'il y ait des murs en aile pour soutenir les terres des digues du canal, et un Figures 464 des planches

radier avec arrière-radier en maçonnerie, et mieux en bois pour prévenir les affouillements.

Si l'on exécute pour l'écoulement des eaux surabondantes des déversoirs sur les rives des biefs, ils devront pour leur hauteur, leur largeur, leurs formes et mode de construction, satisfaire aux conditions indiquées précédemment pour les barrages en rivière.

Déversoirs-syphons du canal du Midi.

L'Ingénieur Garipuy a imaginé et exécuté au canal du Midi un déversoir à syphon qui est à la fois déversoir et épanchoir de fond, mais qui est d'une construction compliquée, d'une réparation difficile, et ne débite que peu d'eau. Il est composé de deux branches: l'une, plus courte, débouche dans le canal près du fond; l'autre, plus longue, aboutit extérieurement au contre-fossé ou canal de fuite. Ces deux branches sont réunies par une courbe circulaire tangentielle.

Le jeu de ce déversoir est dû à un tuyau horizontal de *ventouse*, placé dans la branche du syphon qui plonge dans le canal, et communiquant avec le canal un peu au-dessous des eaux ordinaires de la navigation. Cette première branche du syphon ne s'élève, au-dessus du plan de la ventouse en question, que d'environ un décimètre, c'est-à-dire, d'un peu plus que la hauteur intérieure du vide dans le coude du syphon; en sorte que le plan inférieur de la ventouse, par cette disposition, est presque tangent à la courbe inférieure qui lie les deux branches. Dans cet état de choses, il est évident que lorsque les crues font élever les eaux au-dessus du niveau ordinaire, les eaux atteignent la courbe inférieure; et cet ouvrage fait fonction de déversoir de superficie, jusqu'à ce que le niveau de l'eau en s'élevant, atteigne la courbe supérieure qui lie les deux branches et remplisse entièrement le vide formé par le coude du syphon. Alors l'air extérieur qui restait dans le coude étant chassé par l'eau qui a pris sa place, et ne pouvant y rentrer, puisque la ventouse est immergée, et que toute la capacité du syphon est remplie d'eau, ce syphon fait nécessairement fonction d'épanchoir du fond. Cette dernière fonction continue jusqu'à ce que les eaux ayant baissé dans le canal, la ventouse est émergée; alors l'air rentrant dans le syphon, celui-ci redevient déversoir de superficie.

Figures 465 des planches

Le phénomène physique des fontaines intermittentes a probablement donné lieu à l'invention du déversoir à syphon : les causes d'écoulement et d'intermittence sont absolument les mêmes.

Une notice sur l'approvisionnement des eaux de la ville de Greenock en Angleterre, insérée par M. Ch. Mallet, Inspecteur divisionnaire des

ponts et chaussées, dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1831, donne la description de plusieurs appareils à mouvement spontané pour l'introduction et l'évacuation des eaux, lesquels seraient susceptibles d'être appliqués aux biefs et contre-fossés des canaux de navigation et à leurs rigoles alimentaires.

Afin de pouvoir dans des biefs très-longs en isoler une partie; on réserve ordinairement et de préférence dans les piédroits des ponts fixes ou mobiles qui traversent le bief, des rainures pour y établir facilement et à volonté un barrage en poutrelles horizontales superposées, auquel on adosse au besoin un batardeau en terre.

En Angleterre, au canal du duc de Bridgewater, à la tête des ponts-aqueducs, à celle des souterrains, et dans la longueur des parties en remblais, on a employé des portes dites *de sûreté*. Elles sont établies par paires, afin d'arrêter l'eau en sens opposé. A cet effet on les tient couchées et avec des pentes contraires. Chacune peut tourner sur un axe horizontal reposant sur le radier en maçonnerie.

Si une voie d'eau se manifeste, par exemple en aval, les eaux tendent à se porter plus vivement de ce côté et déterminent un courant à l'emplacement des portes. Ce courant soulève l'une des portes de sûreté, celle d'*aval*, et celle-ci en se redressant arrête l'écoulement des eaux.

A l'endroit où sont les portes de sûreté, le débouché est réduit à ce qui est nécessaire pour le passage d'un seul bateau.

RÉSUMÉ DE LA TRENTIÈME LEÇON.

SYSTÈME DE NAVIGATION AVEC FAIBLE DÉPENSE D'EAU. — SYSTÈME DE PETITE NAVIGATION. — DÉRIVATIONS. — IRRIGATIONS. — DESSÈCHEMENTS. — AQUEDUCS. — CONDUITS D'EAU. — ÉGOUTS — PUITS ARTÉSIENS ET ASSORBANTS.

Exposition de divers moyens essayés pour remédier à l'insuffisance d'eau.

L'impossibilité dans beaucoup de contrées de trouver une quantité d'eau suffisante pour subvenir à la navigation sur un canal, a fait rechercher les moyens de diminuer la dépense. Un des principaux éléments de cette dépense étant le passage des écluses, on a eu recours fréquemment à des réservoirs latéraux, au moyen desquels on tient en réserve une

partie de l'eau qu'on aurait dépensée en entier pour le passage d'un bateau.

Bélidor, dans son Architecture hydraulique, décrit les deux réservoirs annexés aux sas de Bousingue, sur le canal d'Ypres à Niewport. La chute totale était de 6m,40 ; les deux réservoirs emmagasinaient environ les $\frac{2}{3}$ du prisme de chute, en sorte que la dépense n'était que celle d'une écluse ordinaire de 2m,10 de chute. Ce moyen a été suivi en Angleterre au canal de grande jonction ; et à côté de plusieurs écluses, on a placé deux réservoirs de superficie qui communiquent au moyen d'aqueducs avec les sas. L'on peut aussi, comme au canal du Régent en Angleterre, disposer ces réservoirs en sas adjacents servant à volonté à la navigation ou à l'emmagasinage de l'eau.

Figures 466 des planches

On a imaginé en Hollande d'utiliser la chute de l'eau dans une écluse comme force motrice soit pour élever l'eau du bief inférieur au supérieur, soit pour remonter les bateaux eux-mêmes ; mais les frottements des appareils absorbent presque la moitié et les deux tiers de la force.

En Angleterre, en 1794, à un canal près Bath et à Oakengates, l'ingénieur William Smith avait établi la communication des biefs supérieur et inférieur au moyen d'un puits traversé par un caisson flottant, lequel recevait les bateaux, et dont le creux était égal à la profondeur du puits. Le puits, dans ses parties supérieure et inférieure, était muni de portes qui en ouvraient et fermaient à volonté la communication avec les biefs supérieur et inférieur. Quand le bateau était entré dans le caisson, l'on faisait enfoncer ce dernier jusqu'au bas du puits, et passer ensuite le bateau dans le bief inférieur en ouvrant la porte de communication.

Figures 467 des planches

Postérieurement on avait amélioré ce système en creusant le puits au-dessous du niveau du bief inférieur de toute la profondeur de la chute d'eau, et en soutenant le caisson mobile sur un flotteur. Par cette disposition le caisson ou sas mobile chargé du bateau faisait descendre le flotteur au fond du puits, et descendait avec lui pour arriver au niveau du bief inférieur. Le bateau remontait par le même moyen, suivant qu'on faisait enfoncer ou émerger le caisson.

Solage et Bossut avaient, sur des principes analogues, imaginé une écluse à sas mobile, dont on avait essayé de faire l'application au Creusot.

Figures 468 des planches

Enfin, MM. Lanz et Bétancourt avaient imaginé une écluse à flotteur décrite dans leurs ouvrages et représentée dans les figures 468 des planches.

M. de Prony, dans le rapport à l'Institut relatif à cette invention, en avait posé les principes comme suit :

« Si l'on considère un bateau traversant les biefs successifs d'un canal, » comme un corps pesant qui s'élève ou s'abaisse à chaque rencontre » d'écluse, on voit qu'abstraction faite de la force nécessaire pour mettre » en jeu un mécanisme quelconque, le bateau devrait en descendant éle- » ver à la hauteur de *chute* un poids d'eau égal au sien, et que *vice versâ*, » l'élévation d'un bateau ne devrait occasionner que la descente d'un poids » égal au sien. Les choses ne se passent pas ainsi dans les écluses ordi- » naires. L'élévation et l'abaissement des masses d'eau ayant les mêmes » poids que les bateaux, s'y opèrent à la vérité par le simple jeu du dé- » placement du fluide; mais il résulte du mode de remplissage des sas » que les bateaux descendants y dépensent de l'eau comme les bateaux » montants; et comme l'excès du poids de l'eau est énorme, le bénéfice » d'eau dû à la descente ne donne qu'une faible compensation. Ce serait » donc rendre un grand service à la navigation que de réduire la montée » et la descente des bateaux dans une écluse, à une équipondération pure » et simple des masses qui donnerait le minimum de dépense d'eau. »

Voici en quoi consiste la solution présentée par M. Bétancourt.

Il pratique, sur une des rives de l'écluse, un puits à section rectangulaire, qui dans le bas est en communication avec l'écluse par un aqueduc. Un volume d'eau déterminé est contenu dans le puits de l'écluse ; et il s'agit de faire élever et baisser à volonté le niveau de cette eau, de manière qu'il corresponde successivement avec ceux des eaux dans les biefs supérieur et inférieur.

Cette condition est remplie par l'immersion d'un flotteur, ou plutôt d'un plongeur, qui descend et monte dans le puits. Le flotteur est mis en mouvement par un contrepoids susceptible de tenir le flotteur en équilibre dans toutes ses positions. M. de Bétancourt a trouvé que la courbe décrite par le centre de gravité du contrepoids doit être une circonférence de cercle. D'après les transmissions de mouvement projetées par M. de Bétancourt, un seul homme pourrait exécuter les manœuvres nécessaires lors de la montée ou de la descente des bateaux. Cette opération pour la montée s'effectue en fermant les portes d'amont et ouvrant les portes d'aval, et en introduisant les bateaux et refermant ensuite ces dernières portes. On fait descendre le plongeur; il force l'eau du puits de passer dans le sas et de s'élever jusqu'au niveau du bief supérieur; on ouvre la

porte d'amont et le bateau passe dans le bief supérieur. L'inverse a lieu pour la descente.

On ne parlera pas de l'écluse hydro-pneumatique, inventée en Angleterre par le colonel Congrève, et fondée sur la compression et le ressort de l'air. Elle est évidemment inapplicable en grand.

Tous ces moyens, plus ou moins ingéuieux, ont l'inconvénient commun d'être, très-compliqués, faciles à se détraquer, d'une grande lenteur et ne sont pas susceptibles dès lors d'applications sur une grande échelle; aussi l'on y a renoncé partout.

Les puits artésiens, dans des circonstances géologiques convenables, offriraient plus de ressources.

Le mètre cube d'eau n'est ressorti par divers puits artésiens qu'à $0^f,0025$, tandis que le mètre cube d'eau, conduit et emménagé dans divers réservoirs d'alimentation, a été évalué depuis $0^f,007$ jusqu'à $0^f,026$.

Élevation de l'eau dans les biefs à l'aide de machines à vapeur.

L'on a employé la machine à vapeur, surtout en Angleterre, au canal de Rocdale et d'Oxford, du vieux Birmingham, à celui de la Tamise et de la Medway, au canal de grande jonction, enfin à celui du Régent, pour monter de l'eau dans les divers biefs. Ce moyen pris comme auxiliaire dans une navigation déjà établie, où des mouvements plus nombreux, des filtrations ou autres causes, ont augmenté les consommations primitives d'eau, peut être quelquefois préférable à l'établissement de nouvelles rigoles et de réservoirs supplémentaires d'alimentation, surtout dans les contrées où le combustible est à très-bon marché. Pour s'en rendre compte, il suffira; d'une part de rechercher pour une quantité déterminée d'eau, rendue à un niveau également déterminé, la dépense annuelle d'entretien y compris les intérêts et l'amortissement du capital primitif pour les rigoles et réservoirs; et, d'autre part, la dépense analogue pour les machines à vapeur y compris les tuyaux conducteurs d'eau, en y ajoutant la valeur du combustible et le salaire des chauffeurs et mécaniciens attachés à la manœuvre de l'appareil.

Comme moyen d'alimentation *à priori*, et lorsqu'il s'agit de créer un canal, l'emploi des machines à vapeur donne lieu à l'observation suivante: qu'une éclusée d'eau pesant généralement quatre à cinq fois plus qu'un bateau, il faudrait élever avec une machine à vapeur 500 tonneaux d'eau pour faire monter à la même hauteur un bâtiment pesant 100 tonneaux; et pour un bateau descendant ce serait encore pis, puisqu'on ferait monter 400 tonneaux pour en dépenser 100. Il vaut donc mieux, en gé-

néral, dans ce cas, appliquer directement la machine à vapeur à faire monter le fardeau lui-même, soit par des plans inclinés alternant avec des biefs remplis d'eau, soit par la substitution d'un chemin en fer au canal projeté. Cependant l'emploi *à priori* des appareils d'élévation d'eau, malgré les objections ci-dessus, ne doit pas être proscrit, toutes les fois que la rapidité des transports sur un canal devra prévaloir sur les considérations d'économie dans l'emploi des forces motrices.

La substitution des plans inclinés aux écluses convient surtout pour les grandes chutes de terrains où l'on eût été forcé d'employer des sas accolés ou de développer un grand nombre de biefs. En effet, les pertes de temps et d'eau *initiales et finales* pour faire monter un fardeau sont les mêmes, quelle que soit la hauteur d'élévation. Aussi en Angleterre, au seul canal du Shropshire, il y a trois plans inclinés qui rachètent des chutes de 36m,50, 36m,40, 63 mètres de hauteur, avec des longueurs de 292 mèt., 548 mèt., 320 mètres, et des pentes par mètre de 0m,125, 0m,07, 0m,196.

Plans inclinés pour la remonte et la descente des bateaux.

Figures 469 des planches.

Il existe plusieurs plans inclinés sur les canaux du Nord-Hollande; ils ont 0m,20 de pente par mètre, sur environ 3 mètres de large. La manœuvre d'ascension de bateaux de 6 à 8 tonneaux, est faite par un seul homme agissant sur une roue à tympan de 7 mètres de diamètre. Les plans inclinés sont en charpente, bordés sur un grillage piloté.

Le plan incliné souterrain du canal du duc de Bridgewater a 32m,43 de hauteur pour une longueur de 154m,38, y compris 16m,44 pour les écluses supérieures.

Figures 470 des planches.

Plusieurs plans inclinés ont été établis en France au canal du Centre pour suppléer à l'insuffisance de l'eau.

M. de Bétancourt a indiqué, pour les limites extrêmes de l'inclinaison des plans 8° et 25°, ou 0m,07 et 0m,46 par mètre.

Au canal de Morris de jonction de la Delaware avec l'Hudson (canal de petite section), il y a quatorze plans inclinés, chacun de 30m48 de hauteur verticale à la pente de 4 de base pour 1 de hauteur.

Les plans inclinés peuvent être exécutés en maçonnerie ou en charpente. Ils doivent être solidement établis et être garnis de chemins de fer pour diminuer le frottement. C'est sur ces chemins que montent et descendent les chariots ou *berceaux* munis de fortes roulettes, sur lesquels l'on fait reposer soit les bateaux, soit des sas mobiles pareils à ceux du canal Morris des États-Unis, dans lesquels les bateaux restent immergés.

La manœuvre de placement des bateaux sur les chariots au canal du duc de Bridgewater, s'opère dans des écluses ordinaires au haut du plan incliné, qu'on peut remplir ou vider d'eau à volonté ; la remise à flot du bateau au bas du plan incliné, peut se faire aussi au moyen de pareilles écluses.

Figures 469 des planches.

On dépense ainsi une demi-éclusée ordinaire pour l'opération préparatoire de la descente d'un bateau à une profondeur qui sans cela eût exigé 14 à 15 éclusées.

Aux plans inclinés des canaux de Shropshire, pour éviter toute dépense d'eau, on substitue aux écluses du haut un second plan incliné secondaire en sens contraire du principal, et de 12 mèt. de longueur seulement. Le chariot qui doit porter le bateau va le prendre au bas du second plan, à sa sortie du bief supérieur ; et c'est une machine à vapeur qui appelle jusqu'en haut le chariot chargé du bateau, et le fait descendre sur le versant du grand plan incliné principal. Mais les chariots-bateaux pour ne pas s'arquer, et se briser dans ces divers passages, n'ont que $6^{m},50$ à 6 mètres de largeur, et ne portent que 5 tonneaux pesants en descendant, et 3 en montant. De plus, pour économiser sur la mise en train de la machine motrice, on ne la fait agir que quand un grand nombre de bateaux sont réunis à la fois pour remonter et descendre, et qu'ils ne pèsent ensemble à vide que 5 tonneaux. Au canal de Bridgewater au contraire les chariots ont $9^{m},13$ de long sur $2^{m},18$ de large ; et les bateaux ordinaires portent de 5 à 12 tonneaux, pèsent à vide de 4 à 6 tonneaux, ont $11^{m},10$ de longueur, et de $1^{m},37$ à $2^{m},10$ de largeur.

C'est afin de pouvoir employer des bateaux d'un plus fort tonnage sans courir risque de faire défoncer et d'avarier les chargements, qu'on a eu recours aux États-Unis aux plans inclinés avec sas mobiles, où les bateaux restent chargés à flot.

Plans inclinés des États-Unis.

Voici la description que M. le major Poussin donne des sas mobiles des plans inclinés du canal Morris :

Les deux écluses mobiles sont en bois, et montées sur des plates-formes triangulaires, de manière à conserver toujours une position horizontale. Les plates-formes roulent comme un chariot sur huit petites roues en fer. Chaque sas mobile est de 15 mètres de longueur et $0^{m},91$ de profondeur, $2^{m},75$ de largeur, et contient 45 tonnes. Il pèse avec sa plate-forme triangulaire et à vide 15 tonneaux ; avec toute son eau 60 tonneaux. Les bateaux employés sur le canal sont ordinairement du poids de 25 tonneaux. Chaque chariot est muni de deux câbles en fer, dont un seulement suffirait pour

maintenir la charge le long du plan incliné. Ces câbles sont assujettis de manière qu'en diminuant la quantité respective d'eau dans l'un et l'autre sas, les appareils sont mis en mouvement, et les câbles se roulent autour des treuils placés l'un en amont, l'autre en aval du plan incliné. Les chariots sont en outre armés de *cliquets* ou freins, qui permettent d'en régler le mouvement descendant, et maintiennent le sas bien uni aux portes éclusées des biefs supérieur et inférieur, lors du passage d'un bateau du canal dans l'un des sas, et *vice versâ*.

Pour économiser la force motrice on peut, du reste, comme dans les plans inclinés des chemins de fer, utiliser la descente des bateaux pleins ou vides, par la montée d'autres bateaux, au moyen de deux voies dans le plan incliné. Dans un point de partage, à l'instar également des chemins de fer, on peut faire servir la descente sur le plan incliné d'un des versants à la montée sur l'autre.

M. de Bétancourt a indiqué un moyen ingénieux pour que le bateau descendant soit seulement arrivé à l'eau du bief inférieur, quand le bateau montant est rendu tout à fait en haut. Figures 471 des planches.

Manœuvre des plans inclinés.

La manœuvre des plans inclinés s'effectue avec des treuils comme dans les plans inclinés des chemins de fer. Ces treuils sont mus par des hommes, des chevaux ou des machines à vapeur. En Hollande, sur un plan incliné de $0^m,20$ de pente par mètre, un seul homme marchant dans les roues à tympan de 7 mètres de diamètre, ainsi qu'il a été dit, manœuvre un bateau de 6 à 8 tonneaux. Au canal du duc de Bridgewater, il n'y a que deux hommes à la manœuvre des bateaux sur le plan incliné souterrain. L'un est chargé du mécanisme des portes d'amont des écluses, de celui des cylindres, de son frein, l'autre du levage

M. l'Inspecteur général des ponts et chaussées Dutens fait connaître que la manœuvre n'exige que 16 minutes par bateau; et qu'on peut faire descendre trente bateaux chargés, et remonter trente bateaux vides en 8 heures de temps. En tenant compte des poids des chariots et bateaux vides, il présente comme effet utile en 8 heures du plan incliné et de 30 demi-éclusées d'eau :

630 tonneaux de poids total dont 360 tonneaux de charge utile descendant de $42^m,43$ de haut.

270 tonneaux de bateaux et chariots vides, remontant à la même hauteur.

Sur les plans inclinés du Shropshire, outre une machine à vapeur sta-

tionnaire de 6 chevaux et son mécanicien ; on emploie trois hommes ; dont deux en haut du plan incliné introduisent et attachent le bateau sur le chariot, et règlent le mouvement des cylindres ; le troisième, placé au bas du plan, détache le bateau descendu, et fixe sur le chariot le bateau qui doit l'y remplacer et remonter. Les bateaux mettent 3 minutes à descendre de 63 mètres de haut.

On trouvera de plus amples détails sur la construction et la manœuvre des plans inclinés dans les ouvrages de Fulton, et dans ceux de M. l'Inspecteur général Dutens, publiés en 1819 sur le *Système de petite navigation*.

Les plans inclinés ont été particulièrement appliqués aux canaux de petite navigation. Ceux du canal Morris, mentionnés ci-dessus, ont environ 3 mètres de largeur. Le mètre de chacun coûte pour sas mobiles, chariots, chaînes, 3,200 francs, tandis que le mètre courant de chute de petite écluse sur le même canal ressortait à 7,143 fr.

Figure 472 des planches.

M. l'Ingénieur Mercadier, pour épargner la consommation d'eau dans le passage des écluses à grande chute, avait projeté d'élever un radier mobile sur lequel porteraient les bateaux, à l'aide d'un système d'engrenage sur chariot lui-même mobile dans le sens de la longueur de l'écluse. Les figures 472 des planches feront comprendre cet appareil.

Système de petite navigation.

Le système de petite navigation consiste, soit 1° à réduire la largeur de bateaux seulement, et de telle manière que deux petits bateaux passent dans les débouchés ménagés pour les grands, mais en conservant aux bateaux la même longueur ; soit 2° à réduire en outre la longueur de manière à ce que deux petits bateaux à la suite l'un de l'autre puissent être reçus dans un sas destiné aux bateaux de grandes dimensions ; le tirant d'eau est d'ailleurs le même que dans les canaux de grande navigation.

La dépense de construction des biefs, sous le rapport des terrassements, n'est guère moindre que de [illegible] dans les canaux de petite navigation que dans ceux de grande, toutes choses égales d'ailleurs.

Les pertes d'eau par évaporations et filtrations sont les mêmes, que les bateaux de petite navigation soient longs ou courts ; puisque les développements des surfaces des biefs sont les mêmes. Si l'on compare ces pertes à ce qu'elles sont dans les canaux de grande navigation, on reconnaîtra qu'elles ne sont pas réduites de moitié, car les surfaces évaporatoires et les contours mouillés sont loin d'être réduits de moitié ; et d'ailleurs, si les

filtrations sont dues à des fissures de rocher, elles seront aussi abondantes que dans les biefs larges.

La dépense de construction des écluses, à chute égale, sera à peine de $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{3}$ plus grande dans les canaux de grande navigation que dans ceux de petite navigation, suivant que les écluses seront longues ou courtes.

La dépense d'eau par éclusée sera moindre de moitié à un quart dans les écluses *longues* et *courtes* de petite navigation que dans celles de grande navigation; mais comme le poids et le déplacement des bateaux vides relativement aux marchandises qu'ils transportent est bien plus grand dans des petits bateaux que dans des grands, il est possible qu'en définitive, sur une même ligne navigable, la masse totale des marchandises transportée consomme plus d'eau dans une petite navigation que dans une grande. Si l'on considère les intérêts du commerce, on reconnaitra que si les petits bateaux sont obligés d'attendre moins longtemps un chargement complet, ils exigent pour un poids donné de marchandises, des frais de halage et de bateaux bien plus considérables, et qu'on a évalués au double pour *les bateaux courts*.

Le système de petite navigation n'est donc guère applicable qu'aux lignes qui n'auront jamais une grande activité commerciale, et où les frais de constructions et d'entretien du canal, les pertes d'eau par évaporations et filtrations, seraient réparties sur *un faible tonnage* de marchandises transportées.

Dans tout autre cas le système de grande navigation paraît préférable, sauf à recourir aux plans inclinés, et même aux machines à vapeur pour élever l'eau lorsqu'il y a pénurie dans l'alimentation.

En France, l'on a adopté pour le canal de Berry, qui est à petite section, des bateaux longs ayant la moitié de la largeur des grands bateaux; les écluses n'y ont qu'environ 2m,70 de largeur de passage, et sont fermées à l'amont comme à l'aval par un seul vantail transversal. En Angleterre, pour n'avoir pas à allonger l'épaulement de la chambre d'écluse d'aval, on a fait les portes d'aval busquées. Figures 473 des planches

Aux États-Unis d'Amérique le canal de petite section de Middlesex, destiné à des bateaux du port de 14 tonneaux, de 2m,70 de largeur et 22m,90 de longueur, présente une section de 6m,10 à la base, et de 9m,15 à la surface de l'eau, et 0m,91 de profondeur d'eau. Les écluses y ont toutes 3 mètres de largeur, et 22m,90 de longueur de sas.

Au grand canal de New-Yorck où passent des bateaux de 100 tonneaux

avec la vitesse de 3kilom.,70 par heure pour les marchandises, et de 7 kilomètres par heure pour les voyageurs, quoique la section du canal soit en grande navigation, les écluses n'ont que 3m,66 de large sur 27m,45 de longueur de sas.

Enfin au canal Morris, déjà cité plusieurs fois, et pratiqué par des bateaux de 25 tonneaux de port, la section des biefs a 4m,27 de largeur au fond, et 9m,15 à la surface; et la profondeur d'eau est de 1m,22. Les écluses ont 2m,74 de largeur, 19m,50 de longueur et 2m,44 de chute.

Observation générale.

L'ordre d'exécution des ouvrages d'amélioration d'une navigation ou d'établissement d'une navigation artificielle, peut être progressif ou simultané : dans le premier cas on fait profiter les travaux eux-mêmes des nouvelles facilités données aux transports de toute espèce; dans le second on fait jouir plutôt la navigation de l'ensemble des nouveaux ouvrages. Dans chaque localité, dans chaque circonstance et suivant les ressources disponibles en ouvriers et en matières, il y aura à opter entre ces deux ordres d'exécution ou à les approprier aux diverses parties du travail général.

Ici se terminent les notions sommaires qu'on avait à donner sur la navigation artificielle intérieure. On renvoie pour plus de détails aux ouvrages de Bélidor, de Peyronnet, de Gauthey, de MM. Hageau et Dutens; à la description des canaux de l'Ourcq, Saint-Denis et Saint-Martin; aux notices historiques des divers canaux français et étrangers; au *Mémorial du génie militaire*, aux *Annales des ponts et chaussées*, et à la *Collection lithographique de l'école des ponts et chaussées.*

Irrigations et dérivations d'eau.

Irrigations. Les irrigations sont un puissant véhicule à l'industrie agricole dans les contrées méridionales, où la pluie manque pendant plusieurs mois, et où les évaporations sont très-considérables. On a constaté que certains terrains avaient produit par l'arrosage un revenu de 50 à 100 pour 100 supérieur au revenu primitif. Aussi le tarif d'arrosage y est de 12 à 17 fr. par an et par hectare.

L'état et les particuliers ont fait souvent des sacrifices considérables pour cet objet, et employé des machines mues diversement pour élever l'eau. On lit dans deux articles sur les irrigations et dessèchements, publiés

par MM. les Ingénieurs en chef Grangent et Montluisant, dans les *Annales des ponts et chaussées*, que dans le Bas-Languedoc l'arrosage d'anciens marais desséchés doit équivaloir annuellement à une hauteur totale de 30 centimètres répartis sur trente jours au moins et sur quatre mois au plus; et que pour les arrosages par semaine, l'on compte dans le Dauphiné sur une tranche d'eau de $0^m,10$ pour les cultures ordinaires.

Quand les eaux du fleuve alimentaire sont chargées d'un limon favorable aux terres, et qu'on veuille répandre en même temps que les eaux par le *colmatage*, on compte sur une tranche d'eau hebdomadaire de $0^m,15$. Ces quantités varient, au reste, suivant les localités et la nature des terres de $0^m,014$ de hauteur par semaine à $0^m,16$. M. l'Ingénieur en chef Montluisant, dans l'article cité, fait observer que dans les cultures bien ordonnées, on n'arrose en Provence que le tiers des terrains en exploitation, et en Dauphiné que le cinquième.

La pente considérable de quelques-uns des fleuves et de leurs affluents facilite l'établissement de canaux d'irrigation; mais aussi les crues subites et violentes de ces mêmes cours d'eau exigent beaucoup de précautions, surtout quand ils entrainent des sables et autres matières nuisibles à la production agricole.

Bélidor recommande de faire des essais préalables sur l'influence de la nature et de la composition des eaux relativement à la végétation. Il cite, page 477, tome 2 de l'Architecture hydraulique, des eaux très-calcaires, qui par l'irrigation avaient rendu stériles des cantons qu'on voulait féconder. Il indique l'emploi de bassins de stationnement pour débarrasser les eaux de montagnes de leur crudité, et conseille pour activer les effets des eaux d'irrigation, de les faire passer pas des amas, de fumier, ou de plâtras, ou de marne et même de chaux.

Les canaux-aqueducs d'irrigation doivent avoir une pente et une section proportionnées au volume d'eau qu'ils auront à conduire dans un temps donné, et dans les diverses zônes de leur longueur; ce volume doit être lui-même calculé d'après les besoins des terres, et en tenant compte des pertes par filtrations et évaporations. On se sert toujours pour les calculs des formules de M. de Prony, déjà citées antérieurement :

$$V = ulh. \qquad u = -0{,}07 \pm \sqrt{0{,}005 + 323\, i \frac{lh}{l+h}}.$$

Pour diminuer les pertes par évaporation, il faut réduire autant que

possible la largeur de la section du canal. Quand ce dernier doit transporter des eaux limoneuses, il convient de lui laisser beaucoup de pente, au moins dans l'intervalle entre la prise d'eau alimentaire et les premières irrigations, afin d'empêcher les troubles de se déposer avant leur destination, et d'attérir ainsi le canal lui-même. Cette pente ne doit pas être généralement moindre de $0^m,10$ à $0^m,15$ par kilomètre. Elle ne doit jamais cependant être assez forte pour que les eaux, après l'irrigation, ne puissent plus regagner les cours d'eaux existants dans les vallées. On empêche au besoin les troubles de s'étendre, en les retenant par de petites digues; l'écoulement des eaux clarifiées s'opère alors par des réversoirs de superficie.

Le tracé d'un canal d'irrigation est fait de manière à n'occuper que le moins possible de terrains utiles à l'agriculture, et cependant à passer à un minimum de distance de chacune des zônes à irriguer. Quand il occupe le faîte d'une chaîne de collines, il peut desservir à la fois les deux versants. Sous le rapport de sa construction, il est d'ailleurs assujetti aux règles générales données pour les canaux de navigation et pour les ouvrages d'art de même espèce.

Si le canal est à la fois canal d'irrigation et de navigation, comme la *Robine* de Narbonne dérivée de l'Aude (voir l'histoire du canal du Midi par Andréossy), sa pente de fond devra être réglée, comme il a été dit plus haut, de manière à donner une vitesse d'environ $0^m,20$ à $0^m,25$ par seconde; ou bien l'on établirait des sas éclusés, si la navigation ascendante était importante. En règle générale, à cause des chômages et de la vitesse qui nuit aux transports ascendants, il est préférable d'avoir des canaux distincts pour chaque destination.

La prise d'eau dans le fleuve alimentaire doit être telle qu'on puisse avoir de l'eau dans la saison des sécheresses, et que cependant les crues ne puissent verser dans le canal d'irrigation au delà d'un certain niveau. Ces conditions forcent quelquefois de faire gonfler les eaux du fleuve par un barrage à l'aval de la prise d'eau.

Prise d'eau. La pénurie d'eau dans le fleuve alimentaire pendant certains mois de l'année, peut déterminer aussi à y établir des réservoirs de réserve remplis pendant les temps d'abondance.

Un système de ventelles, manœuvré à main d'homme, est le mode le plus simple de prise d'eau; un déversoir de surface ne conviendrait pas évidemment. Comme l'écoulement de l'eau augmente en raison de la charge, il est difficile de suppléer à l'intelligence de l'homme par des mécanismes

fonctionnant d'eux-mêmes ; cependant les vannes à mouvement spontané (selfacting) et autres appareils de même genre, décrits dans un article déjà cité, sur l'approvisionnement d'eau de Greenock, et expérimentés en Angleterre, pourraient convenir dans quelques cas.

Il sera utile de ménager, en cas d'accident, des déversoirs de surface sur divers points de développement d'un canal d'irrigation.

Suivant le mode arrêté pour la répartition des eaux d'irrigation, l'eau sera conduite à chaque propriété intéressée, soit par des déversoirs de section déterminée, et dont le seuil sera à une hauteur fixe en contre-bas du niveau des eaux, soit par des ventelles ou des robinets. Les eaux ainsi réparties se distribueront par un réseau de rigoles entre les propriétés de chaque zône, et à l'aide de petites ventelles dites *martelières*. Les saignées doivent avoir de $0^m,10$ à $0^m,15$ de pente par hectomètre, suivant que le sol est argileux ou sablonneux. Comme dans leur développement elles doivent perdre l'eau, elles s'arrêtent au point où l'imbibition ordinaire du sol suffit pour absorber toute l'eau encore en mouvement; à moins toutefois qu'on ne recueille les eaux dans un canal de décharge ou dessèchement qui les conduit alors dans d'autres zônes inférieures. Les figures 475 des planches indiquent diverses combinaisons de rigoles d'irrigations. Distribution des eaux. Figures 474 des planches. Figures 475 des planches.

S'il s'agit d'amener de l'eau pour un besoin quelconque, public ou privé, par exemple pour servir de moteur à un appareil mécanique, les principes sont à peu près les mêmes que pour les canaux d'irrigations : car le problème à résoudre sera toujours de conduire dans un temps donné et avec le minimum de dépense, un volume d'eau déterminé depuis la prise d'eau alimentaire, jusques aux lieux d'emploi, en perdant le moins possible par l'évaporation ou les filtrations. Mais comme la chute d'eau est un des éléments de la puissance que doit développer l'eau, on réduira, autant que possible, la pente pour ce genre de dérivation, sauf à grandir la section. Toutes choses égales d'ailleurs, on donnera une profondeur d'eau moitié de la largeur du canal, pour diminuer les frottements contre les parois. Dérivations.

De plus, comme les consommations d'eau sont souvent très-variables entre des limites assez distantes, il sera nécessaire dans quelques localités, de former en amont de la chute d'eau, des réservoirs étendus pour emmagasiner l'eau non dépensée ou pour subvenir à une dépense momentanément plus grande; cette précaution sera nécessaire *à fortiori* si les cours d'eau ou étangs alimentaires sont susceptibles de variations considérables dans leurs produits.

Des déversoirs placés en amont et sur l'une des rives du canal de dérivation, doivent empêcher le niveau de l'eau de s'élever au delà du point où elle pourrait causer des dommages aux riverains ; de plus, une ventellerie de décharge de fond doit être ménagée pour servir en cas de réparation de la chute d'eau, et pour évacuer les crues d'eau subites, si le canal y était exposé. Enfin, à côté même de l'appareil moteur, et pour les circonstances où il ne fonctionnerait pas, il est nécessaire d'avoir une vanne de décharge avec canal de fuite.

Figures 476 des planches.

Les figures 476 des planches indiquent l'ensemble des dispositions prises le plus habituellement.

Dessèchements.

Les dessèchements peuvent être divisés en deux catégories.

Dans la première sont les dessèchements des lagunes ou marais que les marées ou les crues d'un cours d'eau découvrent régulièrement ou irrégulièrement. Dans la deuxième, sont les dessèchements des marais formés par des sources locales, par les eaux pluviales ou par des épanchements permanents d'eaux supérieures.

Première catégorie de terrains à dessécher.

Les *polders* de la Hollande, les rives du Rhin, celles de la Loire, les marais supérieurs de Beaucaire, appartiennent à la première catégorie.

La première opération à faire, c'est d'isoler de l'action de l'eau, par des digues, toute l'enceinte ou toute la rive que l'on veut dessécher. L'on a déjà parlé des digues du Rhin et de la Loire ; on trouvera dans l'Architecture hydraulique de Bélidor, dans la Collection lithographique de l'école des ponts et chaussées, des détails nombreux sur les digues de la Belgique et de la Hollande, où l'industrie a su, par l'emploi judicieux de frêles matériaux, opposer des obstacles résistants non seulement à la charge de l'eau, aux filtrations, mais à l'action bien autrement destructive des vagues de la mer.

Lorsqu'une plage n'est plus baignée par la mer qu'aux hautes mers de vive-eau (pleines et nouvelles lunes), elle se recouvre d'alluvions argileuses venant de la côte, et d'herbes marines qui forment des espèces de prairies nommées *shores* en Belgique, sillonnées par de nombreux fossés qui au jusant servent à l'écoulement des eaux douces et salées. C'est alors qu'on s'occupe de soustraire la plage à la mer, et de l'assécher pour la livrer à la culture, sous le nom de *polders*. La surface des polders récents de Hollande et de Belgique présente une légère déclivité vers la mer;

les polders les plus anciens et par conséquent les plus éloignés du rivage *actuel* sont au contraire les plus bas.

Les digues des polders sont élevées de 0m,50 à 1 mètre au-dessus des plus hautes mers d'équinoxe; et comme on n'a pas voulu qu'elles fussent frayées par les voitures, leur épaisseur au sommet est ordinairement de 1 mètre à 2 mètres; leurs talus, du côté de l'intérieur, dépendent de la nature des remblais. Quant à la forme et au mode de constructions de leurs parois à la mer, on renvoie à ce qui sera dit sur les ouvrages défensifs à la mer.

On réserve les terres grasses et végétales jusques sur 1m,50 à 2 mètres d'épaisseur pour le dessus des parois des digues, afin d'y développer la végétation. Si les remblais sont en vase et limon, on établit dans le corps de la digue des corrois de sable, pour empêcher les rats ou les taupes de percer des conduits qui donneraient lieu à d'abondantes filtrations. Un contrefossé est nécessaire parallèlement et à l'intérieur de ces digues, 1° pour recevoir à la fois les eaux infiltrées à travers le corps de la digue et celles qui seraient jetées par les lames et les crues d'eau extraordinaires; 2° pour réunir les eaux pluviales et les sources de l'enceinte desséchée. Entre les contre-fossés et le pied du talus de la digue, l'on réserve ordinairement une banquette de 5 à 6 mètres qui, en même temps qu'elle consolide la digue, sert de chemin d'exploitation aux voitures. Figures 477 des planches.

Les eaux sont conduites dans les contrefossés, soit par des rigoles de ceinture creusées au pied des escarpements naturels du sol, soit par un réseau de rigoles transversales et longitudinales, ou divergentes en rayon, pour le tracé desquelles on ne peut assigner aucunes règles générales. On se borne à recommander l'économie dans les terrains perdus par ces rigoles, et l'exposition de la plus grande surface possible d'eau aux évaporations.

Les figures 478 des planches représentent les polders voisins de Terneuse dans la Nord-Hollande. Figures 478 des planches.

Il reste à évacuer les eaux intérieures de toute espèce accumulées quand les eaux extérieures ont abandonné le terrain.

Il est évident que les orifices d'évacuation devront être d'autant plus grands, que le volume d'eau à faire écouler sera plus considérable; que le temps qui séparera le départ des eaux extérieures et leur retour sera moins long; enfin que les rigoles de réunion des eaux dans les contrefossés auront plus de développement et moins de pente.

En Hollande l'on donne 0m. q.,30 de débouché d'assèchement pour 144 hectares, et 1m. q.,80 par lieue quarrée de 1600 hectares; cela suppose six heures d'écoulement en douze heures, et que la contrée à dessécher est aussi peu sujette aux orages que la Hollande.

La régularité à laquelle les dénivellations de la mer sont assujetties, facilite la fixation des dimensions et niveau de ces orifices. Dans les fleuves, outre les crues régulières dues à la fonte des neiges, il y en a d'extraordinaires provenant d'orages ou de pluies abondantes, et qui durent plusieurs jours et même des semaines.

Suivant la nature des récoltes, on devra ou se résigner à des submersions accidentelles, ou en atténuer les effets en les morcelant, ou enfin les prévoir en réglant en conséquence les dimensions des contrefossés.

Le genre d'orifice d'évacuation, et le mode d'ouverture et fermeture, dépendent de la quantité d'eau à faire écouler dans un temps donné par l'un d'eux et du temps disponible pour l'écoulement. Ce qu'il y a de plus simple, est un clapet rectangulaire ou circulaire, tournant sur une charnière horizontale, on l'établit à la tête extérieure d'un aqueduc d'évacuation en bois ou maçonnerie qui traverse le corps de la digue. Le radier en pente de cet aqueduc est placé au niveau du fond des contrefossés. Le clapet reste fermé quand la charge d'eau à l'extérieur est plus grande qu'à l'intérieur, et s'ouvre dans le cas inverse, sauf la légère résistance due aux frottements.

Figures 479 des planches.

Toutefois, comme ce clapet pourrait se déranger, il sera prudent d'établir en arrière, du côté des terres, une ventelle de sûreté manœuvrée à main d'homme.

Après ce moyen vient celui des portes verticales placées dans une écluse en bois ou en maçonnerie, tournantes sur un axe vertical qui les divise en deux portions d'inégale superficie. Quand les eaux extérieures sont plus élevées que celles intérieures, les portes sont maintenues par l'axe de rotation, et par un épaulement dans l'écluse; mais lorsque les eaux extérieures sont plus basses que celles intérieures, rien ne s'oppose au mouvement de l'intérieur vers l'extérieur.

Figures 480 des planches.

Si les passages sont très-larges, au lieu d'un seul vantail, il y en a deux busqués comme à l'ordinaire, et alors les axes verticaux de rotation sont placés le plus près possible des bajoyers pour moins gêner le mouvement des eaux.

Les clapets et portes tournantes ont l'inconvénient de pouvoir rester

ouverts par l'interposition de quelques corps flottants. On leur préfère ou des ventelles, ou deux paires de portes busquées ordinaires, manœuvrées par des hommes. Dans ce dernier cas, et pour plus de sûreté encore, on réserve en arrière une vanne qui sert à fermer en cas d'accidents survenus aux deux jeux de portes. Un petit arrêt est placé derrière les portes, afin qu'elles ne puissent jamais s'ouvrir assez pour n'être pas fermées par la marée montante. Figures 481 des planches

Si, par des motifs divers, on voulait retenir temporairement les eaux intérieures, il faudrait recourir à la ventelle ci-dessus, et à un jeu spécial de portes d'*Ebe*.

Les figures 482 des planches représentent la grande écluse de desséchement, construite en 1807, par M. l'ingénieur Eudel, près du sas de Gand. Figures 482 des planches.

Quand on ne peut refermer immédiatement une digue de desséchement rompue, l'on conserve les portions restées debout, en les arrondissant à leurs extrémités vers le débouché que la mer a ouvert, et en les tapissant de fascinages et clayonnages qu'on nomme *nolles* en Flandre. Figures 483 des planches

Dans les desséchements de deuxième espèce, s'il n'y avait de marais que par le séjournement des eaux pluviales ou par des épanchements d'eaux supérieures, on pourrait sacrifier les parties de terrains les plus basses pour remblayer et dessécher les autres, en y creusant pour les eaux de nombreux encaissements d'une grande largeur relativement à la profondeur, et que les évaporations videraient pendant l'été. Deuxième catégorie de terrains à dessécher.

Ce mode a soustrait à Saint-Omer un terrain immense qui était couvert de plus de $0^m,50$ d'eau, il y a 50 à 60 ans. Mais comme il pourrait être une cause d'insalubrité, on tâche d'en hâter les effets : 1° par le *colmatage* mentionné à l'article *irrigations*; 2° par des plantations très-multipliées d'arbres aquatiques, tels que les saules, osiers, aunes, peupliers, frênes, érables, etc.; l'expérience a prouvé qu'un saule de dix ans absorbe environ 3 kilog. d'eau en 24 heures; 3° par des semences de plantes labiées, renonculées ou ombellifères.

Ce mode n'est point applicable s'il y a des sources abondantes ou même si le volume des eaux pluviales ou d'inondations est considérable, relativement à la surface à dessécher; alors il faut tenter l'évacuation des eaux intérieures vers des cours d'eaux situés plus bas que les marais.

Lorsque les sources, eaux d'inondations, ou affluents quelconques d'eau, viennent par les *rives de l'enceinte à dessécher*, il sera généralement plus

économique de les dévier en dehors de l'enceinte ou de les conduire isolément à travers les marais, que de les y laisser pénétrer pour en faire écouler ensuite les produits en commun avec ceux des sources intérieures et des eaux pluviales.

Il convient par le même principe, dont le Hollandais Van-Ens a fait l'application dès 1650, de partager toute l'étendue en bassins ou zônes de même niveau, et dans tous les cas, d'enceindre de fossés l'ensemble des marais d'une même zône.

Les fossés sont souvent alors des canaux d'écoulement pour les bassins ou zônes étagés plus haut : par cette disposition on évacue séparément les eaux de chaque bassin à l'aide de canaux de dimensions ordinaires ; et si des crues ou élévations d'eau du récipient inférieur entravent l'écoulement des eaux des marais, au moins le champ des submersions temporaires est aussi resserré que possible.

Lorsque les marais reçoivent les crues de divers cours d'eau, souvent ces crues ne sont pas simultanées, mais successives ; cette dernière circonstance permet de réduire les dimensions des canaux de dessèchement.

Les produits des sources intérieures et eaux pluviales, doivent nécessairement être conduits en dehors par des canaux ou aqueducs souterrains ou à ciel ouvert, qui aboutissent à un cours d'eau naturel situé plus bas que le point de départ. Plus la pente sera forte, moins pour un volume d'eau déterminé la section d'écoulement aura besoin d'être grande ; mais cet accroissement de pente ne pourra souvent être obtenu que par un longueur de trajet plus considérable, ou par le franchissement dispendieux de reliefs de terrains et d'une foule d'autres sujétions. Il paraît utile que les canaux de dessèchement soient plus profonds à leur milieu que sur leurs rives, et qu'ils aient environ 2 mètres de profondeur pour éviter les végétations du fond qui ralentiraient la vitesse.

Il arrive souvent qu'au lieu d'une seule voie d'écoulement des eaux, il soit plus avantageux d'en avoir plusieurs de *différents ordres*, ayant des points de départ et d'aboutissement différents. Les canaux principaux servent alors de débouché commun aux canaux secondaires. Les uns et les autres doivent avoir au reste des francs-bords, c'est-à-dire des bermes et des levées, qui sont formées par une partie des déblais du creusement des canaux. Le reste de ces déblais sert à recharger les zônes de terrains qui seraient le plus facilement appropriées à la culture.

Si les marais sont traversés par un torrent ou rivière sujette à des crues rapides, on l'encaisse souvent par deux *ordres* de digues, *majeurs et mineurs*, séparés par une banquette. Les digues inférieures ont alors pour objet de contenir les crues moyennes, et les digues supérieures de contenir les plus grandes crues; la banquette intermédiaire reste ainsi susceptible encore de plusieurs espèces de culture.

Il est évident d'ailleurs, que si les canaux débouchaient à la mer ou dans des fleuves sujets aux crues, il y aurait à examiner s'il serait préférable de les faire aboutir au niveau des plus grandes eaux, ou beaucoup plus bas; sauf dans ce dernier cas, si les marées et les crues sont chargées de troubles infertiles, à isoler les canaux pendant tout le temps où le niveau des eaux de la mer ou des fleuves serait plus élevé que celui des canaux à leur aboutissement. Dans cette hypothèse de marées ou de crues au débouché des canaux de dessèchement, l'écoulement de l'eau des marais étant entravé et même suspendu pendant un certain temps, on aurait aussi à examiner si l'on se résignerait à une submersion accidentelle, ou si l'on ménagerait des encaissements ou fossés de réserve à l'origine des canaux de dessèchement.

A environ 3,000 mètres en amont de l'embouchure de l'Authion, dans la Loire, le pont éclusé de Sorges (figures 201 des planches) préserve les vallées les plus fertiles de l'Anjou, et empêche les eaux de la Loire de remonter dans l'Authion, dont le volume d'eau est très-faible relativement à celui de la Loire. Les crues de ce fleuve s'élèvent en aval de ce pont éclusé jusqu'à 6 mètres au-dessus du radier. Figures 201 des planches.

Il arrive quelquefois, par la nature argileuse du sol, jadis couvert par des eaux saumâtres, que le soleil fait remonter le sel à la surface; il est alors nécessaire d'arroser les terrains pour les dessécher. On se sert à cet effet des canaux de ceinture mentionnés précédemment, qui vont prendre l'eau douce en amont, la répandent comme un canal d'irrigation, et l'entraînent ensuite en aval chargée de sel.

Si les canaux de dessèchement devaient servir en même temps de canaux d'irrigation et de navigation, ou aux trois destinations à la fois, comme dans les nombreux canaux de la Hollande, et ainsi qu'il est projeté pour la rivière d'Aa dans le Pas-de-Calais, il y aurait à satisfaire, dans leur tracé, leurs dimensions et leurs ouvrages d'art, à ces nouvelles sujétions. Par exemple, si la navigation exigeait des écluses, il serait bon qu'elles n'eussent pas de murs de chute, à moins qu'il n'y eût des passages Canaux à la fois de dessèchement, d'irrigations et de navigation.

latéraux de communicatiou entre les eaux du bief supérieur au bief inférieur.

Circonstances les plus defavorables des dessechements.

Enfin, si les terrains à dessécher sont plus bas que tous les cours d'eau, étangs ou récipients d'eau environnants, il n'y a plus que l'un des partis suivants à prendre :

1° Le moyen déjà indiqué de conduire les eaux troubles sur la surface à exhausser ou *colmater*, sauf à évacuer par des déversoirs superficiels, comme il a été dit à l'article Irrigations, les eaux qui ont apporté les dépôts. Pour que le renouvellement des couches d'eau soit le plus fréquent que possible, il faudra douner beaucoup de vitesse d'arrivée et d'écoulement aux eaux, et surtout disposer la distribution des eaux troubles de manière qu'elles se dispersent uniformément sur tous les points, et non pas seulement dans les zônes voisines du débouché du canal d'arrivée dans l'enceinte des terrains à *colmater*.

Bélidor recommande, p. 472, tome 2 de l'*Architecture hydraulique*, pour les terrains très-bas qui exigent une hauteur considérable de terres déposées, d'introduire d'abord l'eau trouble du fond du courant, celle qui entraîne les gros sables; et quand la bonification est arrivée à une hauteur convenable, d'exhausser le seuil de la rigole de prise d'eau pour couvrir de limon cette couche inférieure de sable. Cette manière de dessécher les marais est très-lente : car le Rhône qui est un des fleuves les plus chargés de troubles, n'en parait contenir que $\frac{1}{1300}$ de son volume d'eau.

M. l'Ingénieur en chef Goury, dans l'intéressant ouvrage intitulé *Souvenirs polytechniques*, décrit ainsi qu'il suit les principes de colmatage employés en Toscane et dans la vallée de la Chiana :

« Les petits torrents tributaires de la Chiana, en fonctionnant dans » les *colmates*, remplissent un double objet : ils y déposent les troubles » qui bonifient le sol; et ils ne se versent que clarifiés dans le récipient » inférieur, et ne contribuent plus à l'encombrer.

» Chaque colmate a généralement deux enceintes particulières formées » par des digues en terre, ou par des clayonnages, parois en bois, etc., etc. On » élève celles-ci en raison de l'avancement de la *colmate*. Ces enceintes sont » de grandeurs différentes à raison du volume des eaux du torrent : on y » conduit ce dernier après avoir fait gonfler ses eaux par un barrage. » Le canal de dérivation se divise, à son entrée dans l'enceinte, en plu» sieurs fossés divergents, qui distribuent régulièrement le limon sur » toute la surface. Les eaux passent de la première à la seconde, et de

» celle-ci au canal de fuite, par le moyen de deux *filtres* ou déversoirs en » clayonnages qui présentent une vanne dans la partie la plus basse de leur » développement. Cette vanne sert à mettre les enceintes à sec, quand » le torrent n'est plus trouble. L'on obtient ainsi des fourrages en été, et » l'air n'est point corrompu par des eaux stagnantes.

» Des expériences faites dans la Maremme toscane, aux rives du » fleuve-torrent de l'Ombrone, à différentes périodes de ses crues, ont » donné pour mesure de l'attérissement de $\frac{1}{17}$ à $\frac{1}{15}$ de la hauteur de l'eau.... » Lorsqu'on fait agir de grands torrents de cette espèce, il faut que la pente » du canal de dérivation soit très-forte jusqu'aux enceintes *à colmater*, » pour qu'il ne s'attérisse pas lui-même. Il faut encore choisir entre les pé- » riodes des crues, s'il y a quelque moyen de régler le volume des crues. » Ainsi sur l'Ombrone, on opérait entre 2,5 et 4 pieds de crues du fleuve. » On doit enfin dériver les eaux *de fond* à *gueule-bée*, et jamais de sur- » face; et intercepter la dérivation lorsque la crue diminuant, le courant » entraînerait plutôt que d'accroître les alluvions récentes. Lorsqu'il s'agit » de dessécher un lac, un vaste marais; l'on doit commencer par en élever » et reculer graduellement la lisière, afin d'obtenir des bonifications plus » promptes, sans altérer la profondeur des eaux de l'enceinte à colma- » ter. Celle-ci deviendrait plus insalubre par la corruption rapide des » végétaux aquatiques, et pourrait même perdre ses *émissaires naturels* » *d'eau*, si l'on abandonnait au vague l'introduction des troubles.

» En 1809, on exécutait une colmate de 8,500 ares; cette opération, » entreprise par l'ordre de Saint-Etienne et par voie d'échange de terrains, » avait coûté 314,000 francs, y compris 20,500 francs pour travaux d'art. A » ce prix on transformait, dans le cours de huit années, en terres labou- » rables, valant 212,000 francs, 85 hectares de mauvais terrains. Le rap- » port de la dépense et du produit des colmates est à peu près le même. » Le résultat prouve que les entreprises de cette nature, *sommairement* » *onéreuses*, ne peuvent être faites que par de grands propriétaires ou » par l'état, et moins dans la vue de profits prochains, que sous les rap- » ports généraux de salubrité, population et industrie. »

2° La ressource incertaine des puits artésiens absorbants déjà cités et décrits dans les articles insérés aux *Annales des ponts et chaussées* de 1833 à 1835.

3° L'élévation de la portion non vaporisable des eaux accumulées jusque dans un bassin creusé au point le plus bas des terrains; cette opération

s'effectue à l'aide de machines mues soit par le vent, soit par des cours d'eau, soit par des animaux ou par la vapeur d'eau.

On voit par tout ce qui précède, que le problème des desséchements est un des plus épineux à résoudre, parce qu'il se complique de considérations de salubrité publique, d'économie politique, indépendamment de celles relatives à l'agriculture, à la navigation, et indépendamment des difficultés de l'exécution technique. Ainsi, il faut d'abord analyser les causes principales de la submersion et de l'infertilité des marais; et quand cette recherche pénible aura été faite, il y aura, pour modifier l'état présent des choses, à choisir entre une foule de combinaisons qui satisferont mieux à certaines conditions et moins bien à d'autres; les unes exigeront des dépenses premières plus grandes, mais en dispensant ultérieurement d'une partie de frais journaliers; dans d'autres combinaisons les rapports de dépenses seront en sens inverse. Dans chaque catégorie il y aura ensuite à placer en regard les dépenses de toute nature, avec les *résultats qu'elles produiront*; ainsi, pour n'en citer qu'un exemple, supposons que l'écoulement des eaux puisse se faire à volonté par un seul canal ou par plusieurs; il faudra présenter, de part et d'autre, en ligne de compte; les dépenses d'exécution; le terrain enlevé à l'agriculture par les canaux; les facilités pour la navigation; celles pour les colmatages et les irrigations, etc., etc.

L'étude des projets et l'historique des divers desséchements sont les meilleurs guides pour ce genre d'opérations.

Figures 484 des planches

On regrette de ne pouvoir reproduire dans les figures 484 des planches que la carte de :

1° L'ensemble des desséchements entre le Petit-Rhône et le canal de Beaucaire;

2° Celui des desséchements de la *Braine*;

3° Le plan des desséchements des étangs de Montady et Capestang, dans le Midi, effectués, le premier par écoulement, le deuxième par colmatage.

Il existe dans les départements de l'ancienne Lorraine et dans d'autres contrées, des marais qui sont alternativement, pendant des séries d'années, à l'état d'étangs ou plutôt de viviers, et à celui de terres arables. Le limon, déposé pendant la première période, sert d'engrais pour la seconde.

Les ouvrages d'art des canaux d'écoulement souterrains et à ciel ouvert, navigables et non navigables, sont d'ailleurs exécutés d'après les règles

générales de la première partie de l'ouvrage, et les règles spéciales exposées pour les canaux de navigation proprement dits.

Les canaux de desséchement et souvent les rivières auxquelles ils aboutissent ont besoin d'être fréquemment curés; la négligence apportée à cet entretien a été la cause première de la plupart des submersions de terrains devenus marécageux. Les collections lithographiques de l'École des ponts et chaussées, et les *Annales des ponts et chaussées* des années 1831, 1832, 1833 et 1836 fournissent les descriptions et les dessins de divers appareils de draguage employés. On trouvera de plus amples détails sur les desséchements, dans les ouvrages de Bélidor, de Dubuat, dans les *Souvenirs polytechniques* de M. Goury, et particulièrement dans les Mémoires de M. de Prony sur les marais Pontins, enfin dans les articles publiés par MM. les Ingénieurs en chef Grangent et Montluisant, dans les *Annales des ponts et chaussées*, de 1831 et 1832.

Aqueducs et tuyaux de conduite d'eaux, égouts, puits artésiens, et puits absorbants.

On a déjà mentionné plus haut le cas où des canaux de navigation artificielle devront, comme le canal de l'Ourcq, être en même temps des canaux de conduite d'eau. On a dit qu'il fallait alors donner aux eaux une vitesse de $0^m,20$ à $0^m,25$ par seconde environ, par une pente convenable du fond du lit des biefs, à moins qu'on n'établit des rigoles de communication d'un bief à l'autre. Aqueducs et autres ouvrages pour la conduite des eaux potables.

Les canaux d'irrigation et de dérivation, peuvent également servir à la conduite d'eaux potables; mais généralement les conduites potables ont pour but spécial et unique l'approvisionnement d'eau nécessaire aux lieux habités et aux expéditions maritimes.

La première opération à faire consiste à reconnaître le volume d'eau que l'on aura à conduire dans un temps donné, dans les saisons de pénurie et de plus grande abondance; s'il est fourni par des sources ou des ruisseaux, les jaugeages doivent en être faits avec soin, et, s'il est possible, pendant plusieurs années. Les figures 485 des planches représentent le mode de jaugeage ordinaire des fontaines. Figures 485 des planches

La deuxième opération consiste à fixer le point d'arrivée des eaux, et à établir entre ce point et celui de départ la pente de fond qui, combinée avec les dimensions de la section, débitera le volume d'eau maximum. Ordinairement il y a grand intérêt à placer le plus haut possible le point

d'arrivée des eaux pour en effectuer plus facilement ensuite la répartition entre les divers quartiers d'une ville, et en atteindre les plus élevés.

L'on ne parlera pas de l'analyse chimique des eaux sous le rapport de la salubrité, ni des moyens d'épuration et de filtrage à simple ou à double courant de haut en bas et de bas en haut, à employer au point de départ ou d'arrivée des eaux. L'on trouvera sur ce dernier objet des renseignements dans deux articles insérés aux *Annales des ponts et chaussées*, l'un déjà cité, approvisionnement d'eau de Greenock, l'autre publié en 1835, intitulé: *Classification et dépuration des eaux*, par feu M. l'Ingénieur Genieys.

Les ouvrages de MM. Dubuat, Prony, Bellanger, Genieys, l'*Aide-Mémoire pratique* de M. Morin, capitaine d'artillerie, donnent des méthodes de calcul des pentes et sections d'eau pour les divers cas qui peuvent se présenter.

Si l'eau ne doit pas couler à pleins tuyaux dans la conduite, il ne pourra y avoir aucune contrepente dans la longueur de la conduite, et l'on ne pourra franchir les abaissements de terrains que par de véritables ponts ou viaducs, à un ou plusieurs étages d'arches. Les aqueducs des anciens, entre autres ceux de Jouy près Metz, du pont du Gard, de Ségovie, de Lisbonne, sont des ouvrages d'une grande magnificence, avec lesquels rivalisent, dans les temps modernes, les aqueducs de Marly, Maintenon, Montpellier, en France; celui de Caserte dans le royaume de Naples, et ceux du pont Cysiltyet de Longden, récemment exécutés dans la Grande-Bretagne, avec caisses en fonte. Ils sont représentés dans les figures 459 des planches.

Figures 486 des planches

Figures 459 des planches

Si les eaux doivent toujours couler à plein tuyau en pressant les parois supérieures et inférieures de la conduite; on peut jusqu'à une certaine limite, et quand il existe une forte charge d'eau à l'origine, faire descendre la conduite sur le versant d'un coteau pour la faire remonter sur le sommet moins élevé du versant opposé. Mais les coudes doivent être arrondis suivant les rayons de courbure les plus grands possible, afin de diminuer les pertes de vitesse; et comme des bulles d'air comprimé pourraient se placer dans les sommets des coudes et interrompre le cours de l'eau, il est indispensable d'en assurer le dégagement par des ventouses. Ces ventouses peuvent être: soit des tuyaux creux verticaux et imperméables s'élevant jusqu'au niveau de la charge d'eau amont; ou bien des soupapes comme celles de sûreté des appareils à vapeur, se soulevant dès que le ressort de l'air comprimé dépasse certaine limite.

Figures 487 des planches.

Pour reconnaître facilement les pertes d'eau par filtration, et limiter le champ des recherches et des réparations; la conduite d'eau doit présenter, de distance en distance, surtout aux changements de direction en plan et en profil, des regards ou bâches où l'on puisse descendre jauger l'eau. Ces ouvrages sont des espèces de puits dont la section horizontale minimum doit être de 1 mètre en quarré. Ils sont abrités par des cabanes ou simplement fermés par une trappe horizontale cadenassée. Quelquefois on se sert de ces regards alors approfondis, pour y faire séjourner l'eau et lui faire déposer ses troubles; mais on achète cet avantage par une perte dans la vitesse de l'eau due à l'altération de son régime uniforme.

Les conduites d'eau souterraines ou fermées d'une médiocre dimension peuvent être exécutées : Matériaux employés pour la conduite des eaux.

En bois,

En maçonneries à section rectangulaire ou autre,

En pierres factices ou en poteries à section circulaire,

En tuyaux de fonte de fer,

Enfin en tuyaux de plomb. Figures 488 des planches.

Les tuyaux en bois ont généralement l'inconvénient de communiquer un mauvais goût à l'eau, et ne peuvent convenir pour tenir lieu de tuyaux d'alimentation.

Les conduites d'eau en maçonneries, pierres factices et poteries, sont les moins coûteuses, à section égale, mais l'expérience a prouvé : 1° que malgré des enduits hydrauliques intérieurs lissés et des chappes extérieures, l'intérieur des canaux s'engorgeait par des dépôts de terres; que des végétations abondantes en rétrécissaient le débouché et parvenaient à la longue à le fermer; 2° que les racines de certains arbres, même à grandes distances (9 à 10 mètres) de la conduite, même lorsque le pied de l'arbre était à plusieurs mètres (3 à 4 mètres) en *contre-bas* du plan de la conduite, étaient si avides d'eau qu'elles s'élevaient et pénétraient à travers les maçonneries, et par les joints en mortier. Figures 489 des planches.

Les conduits en tuyaux de fonte de fer, par les facilités qu'on a de les visiter et de les changer, sont généralement préférés aux précédents. Mais leur oxidation, favorisée à ce qu'il paraît par la composition chimique de quelques eaux, développe fréquemment des tubercules dans la section intérieure, lesquels rétrécissent également le débouché et exigent de fréquentes visites et des nettoyages dispendieux. (Voir à cet égard les articles relatifs aux conduites d'eau potable insérés aux *Annales des ponts et chaussées* Figures 490 des planches.

de 1834, 1835, 1836 et 1837.) Pour obvier aux effets de dilatation et de contraction des tuyaux en fonte, on a établi des *compensateurs* à intervalles équidistants.

Figures 491 des planches

Les conduits en plomb n'ont pas les inconvénients précédents; mais on ne peut guère les employer au delà de 15 centimètres de diamètre intérieur. Jusqu'à 7 centim., ces tuyaux s'obtiennent aujourd'hui par le laminage en creux, et l'on est dispensé des anciennes soudures longitudinales; mais au delà il faut les couler, et alors la longueur de chaque tuyau ne peut guère aller au delà de 2 à 3 mètres, ce qui multiplie énormément les liaisons et les chances de fuites d'eau.

D'ailleurs, si les charges d'eau sont considérables, il faut des épaisseurs très-fortes en métal; et les chances d'un coulage imparfait seraient plus grandes. D'après des expériences de M. Jardine d'Edimbourg, citées par M. Navier (page 399 du *Résumé des leçons*), un tuyau de plomb de 1° ½ anglais (0m,0375) de diamètre, et de ⅕ pouce (0m,005) d'épaisseur, a supporté sans altération apparente la pression d'une colonne d'eau de 1000 pieds (300 mètres) de hauteur, et s'est rompu sous celle de 1200 pieds (360 mèt.). Un autre tuyau de 2° anglais (0m,05) de diamètre, également de ⅕ de pouce (0m,005) d'épaisseur, a supporté sans altération apparente une colonne de 860 pieds (240 mètres), et a rompu sous celle de 1000 pieds (300 mèt.).

Pour des épreuves de recette de 3,400 mètres courants de tuyaux creux laminés en plomb, destinés à la distribution des eaux potables du port de Lorient, on avait stipulé et obtenu que ces tuyaux de 0m,055 (2 pouces) de diamètre intérieur, de 4mill.,50 (2 lignes) d'épaisseur, et pesant 9kil,30 le mètre courant, supporteraient la charge d'une colonne d'eau de 80 mèt. de hauteur, sans éprouver d'altération apparente et sans laisser suinter l'eau.

Les tuyaux en pierres factices, poteries et fonte de fer, comme ceux en plomb, doivent être essayés avant l'emploi, sous une charge au moins quintuple de la charge à laquelle ils auront à résister, et il serait utile même d'éprouver également plusieurs de ces *tuyaux réunis* pour apprécier la résistance des liaisons.

Figures 491 des planches.

Dans les zônes où des tuyaux souterrains sont exposés à de fortes charges mobiles ou éventuelles, il est nécessaire, quand ils ne sont pas renfermés sous des galeries naturelles, de les envelopper par une maçonnerie en pierres sèches; pour éviter l'action des gelées, on les entoure aussi de sable ou argile. Quelle que soit l'espèce des tuyaux employés, il peut être préférable, dans beaucoup de cas, de substituer deux conduites

égales à une seule, et d'établir de distance en distance des raccordements facultatifs entre elles, afin d'assurer la continuité d'écoulement de l'eau dans toutes les circonstances des réparations.

Dans une conduite d'un grand développement, les charges des tuyaux à l'origine et à l'extrémité aval varient entre des limites très-éloignées. Il y aura donc quelquefois économie à partager la conduite en un certain nombre de zônes où la résistance des tuyaux serait la même, mais toujours moindre d'une zône à l'autre en remontant vers l'amont.

Lorsque des robinets de distribution sont placés sur une conduite en fonte de fer ou en plomb, et qu'on les ferme brusquement, il en résulte presque toujours, et par un effet analogue à celui du bélier hydraulique, la rupture des tuyaux en arrière des robinets. On prévient ces accidents en plaçant sur ces points une ventouse à tuyau ou à flotteur, ou une soupape de sûreté. Les figures 493 des planches représentent une ventouse à flotteur. Figures 493 des planches.

Les grandes variations entre les sources alimentaires des conduites d'eau et les consommations, ont fait adjoindre à la plupart des conduites d'eau, des réservoirs pour emmagasiner l'eau en excédant des besoins et la conserver pour les temps de pénurie. Les eaux contenues dans les réservoirs doivent toujours être traversées et mélangées avec les eaux *vives* affluentes, afin de ne pas s'altérer par un trop long séjour. C'est également pour un motif de salubrité, que les réservoirs sont en maçonnerie, et abrités par des voûtes ou des toitures ordinaires qui laissent libre la ventilation par l'air extérieur. L'intérieur de ces réservoirs doit être enduit avec le plus grand soin en mortier très-hydraulique ou tapissé en plomb laminé. Le calcul des dimensions des parois de ces réservoirs est fait suivant les règles indiquées précédemment. La section horizontale circulaire est celle qui, sous un périmètre donné, contient le plus de surface, et qui par sa forme oppose aussi la plus grande résistance à la poussée des terres, quand les réservoirs sont enfoncés sous le sol. Ces réservoirs, dont le radier est en pente, doivent être munis, 1° d'un tuyau de vidange de fond, fermé par une ventelle ou un clapet; 2° d'un tuyau de trop plein dont l'orifice soit au niveau fixé pour l'eau en réserve. De plus, pour assurer la continuité du service des eaux en cas de réparation du réservoir, il y aura un tuyau facultatif de communication entre celui d'arrivée des eaux au réservoir, et celui de départ. Réservoirs d'eau.

On trouvera des détails intéressants sur les conduites d'eau et réservoirs dans l'article déjà plusieurs fois cité, intitulé : *Approvisionnements d'eau*

de Greenock, inséré aux *Annales des ponts et chaussées* (tome 1er, 1re série), et dans un ouvrage spécial de feu M. Genieys, Ingénieur en chef des ponts et chaussées, sur la *Distribution des eaux dans Paris*. La pose au fond des rivières de conduites d'eau transversales, fait aussi l'objet d'un article de MM. les Ingénieurs Mary et Michal, inséré en 1835 aux mêmes *Annales*.

Aqueducs et égouts. Les aqueducs ou égouts sont disposés sur une section bien supérieure au débouché nécessaire à leur destination, mais telle que l'on puisse les faire visiter et réparer en tout temps. Une largeur de 1 mètre sur une hauteur de 2 mètres sont les dimensions maximum des égouts de Paris; les piédroits des murs vont en s'éloignant jusqu'à la naissance des voûtes cylindriques, de manière à présenter au maximum, $0^m,90$ de largeur dans le bas, et $1^m,10$ dans le haut. Comme dans ces ouvrages les eaux de filtration sont rarement une gêne; on peut, pour ne pas avoir à tenir compte de la poussée de l'eau, la laisser entrer dans les égouts ou aqueducs par de nombreux créneaux réservés dans les piédroits. (Figures 491 des planches.)

La décharge des eaux pluviales et de lavage, se fait, dans les égouts, soit par des puits verticaux, qui placés dans l'axe des égouts, interrompent la voûte; soit par des puits spéciaux, communiquant avec les égouts. Cette communication est effectuée par des tuyaux en fonte, ou par des aqueducs secondaires de raccordement. Les nouvelles *bouches sous-trottoirs* ont été ainsi établies à Paris par M. l'Ingénieur en chef Emmery. (Figures 495 des planches.)

Pour les visites et réparations des égouts, il y a de distance en distance des regards ou puits verticaux, fermés par des trappes. Enfin, pour dégager l'air comprimé et assainir les égouts, on établit des ventouses à tuyaux verticaux et soupapes à leur partie supérieure; ou bien l'on met cette partie en communication avec les tuyaux de descente des maisons d'habitation. (Figures 496 des planches.)

La pente des égouts ne saurait être trop rapide, car on peut toujours, pour faciliter le cheminement souterrain des hommes, la morceler au besoin par des petites chutes ou degrés. A Paris on a adopté un minimum de 1 millim. par mètre de pente longitudinale. On dispose le radier transversalement en arc de cercle, avec flèche de $\frac{1}{10}$ de la corde.

Les égouts de la ville de Paris, présentant un développement de 50,000 mètres, ont été l'objet d'études approfondies, dont les résultats aujourd'hui obtenus sont consignés dans deux articles très-remarquables de M. l'Ingénieur en chef Emmery, insérés aux *Annales des ponts et*

chaussées de 1834 et 1836. On y trouvera des solutions pour les principales difficultés que les dispositions de ce genre d'ouvrages présentent, quand il faut les combiner avec le minimum de dépense d'arrosage et de lavage et la plus prompte évacuation des eaux de toute espèce, même des quartiers les plus bas d'une grande ville.

Puits artésiens.

Les puits artésiens, pour l'ascension de l'eau, pratiqués de tout temps dans l'ancienne province de l'Artois, ont depuis quelques années été multipliés sur divers points de la France et à l'étranger, partout où la constitution géologique du sol présentait des chances de réussite. Les fig. 497 des planches indiquent quelques-uns des terrains où des sources artésiennes ont été rencontrées. Un grand nombre de besoins publics et industriels ont pu être satisfaits par les sources souterraines. On a profité de la chaleur constante de leurs eaux pour plusieurs usages; et il est probable qu'on reconnaîtra dans quelques-unes d'entre elles des propriétés hygiéniques. On renvoie pour les détails techniques et moyens de forage, à l'ouvrage intitulé : *Traité sur les puits artésiens*, de M. l'Ingénieur Garnier; aux *Annales des mines*; et à un mémoire intitulé : *Essai de sondage par le procédé chinois*.

Figures 497 des planches.

On y verra de quelle importance est la forme des outils de forage suivant les diverses couches de terrain qu'ils doivent entamer; quelles sont les grandeurs, formes et dispositions des coffres et buses superposés et concentriques, qui contiennent les tiges de l'instrument, et ont pour objet d'empêcher les engorgements par le sable; comment on applique la force motrice nécessaire à l'enfoncement des coffres, à l'enfoncement et à la rotation de la sonde, et au soulèvement et enlèvement facultatifs d'un appareil qui, fonctionnant quelquefois à beaucoup plus de 200 mètres de profondeur, est d'un poids très-considérable. Les figures 498 des planches se rapportent à ces divers objets.

Figures 498 des planches.

On fera remarquer qu'il est très-essentiel de ménager des moyens d'évacuations permanents à l'eau ascensionnelle, si l'on ne veut s'exposer à des soulèvements dangereux, ou à des submersions locales.

Puits absorbants.

L'emploi des puits artésiens pour l'absorption des eaux superficielles est plus récent; et il a été constaté qu'il était possible, du moins dans les terrains des alentours de Paris, d'évacuer souterrainement jusqu'à 100 mètres cubes de liquide par heure, par des nappes artésiennes inférieures à celles d'alimentation des puits domestiques et sans infecter ces derniers par les eaux *impures prises même dans les voiries*. Les

Figures 499 des planches.

figures 499 des planches indiquent un puits de ce genre établi à Paris près la barrière du Combat. On est parvenu dans le même puits, et par des tuyaux concentriques, à recueillir les eaux ascensionnelles des nappes inférieures, et à la fois à faire écouler les eaux superficielles par les nappes les plus près de la surface. Ce système conviendrait pour le desséchement des marais, leurs irrigations et mise en culture.

On trouvera les détails de ces faits remarquables dans les articles publiés par M. l'Ingénieur Emmery, en 1833 et 1835, aux *Annales des ponts et chaussées*.

CINQUIÈME ET DERNIÈRE PARTIE.

DES OUVRAGES RELATIFS A LA NAVIGATION MARITIME EXTÉRIEURE.

RÉSUMÉ DE LA TRENTE-UNIÈME LEÇON.

DU VENT. — DES ONDULATIONS. — DES LAMES ET VAGUES. — DES DÉNIVELLATIONS DES MARÉES. — DES COURANTS DE MARÉE ET AUTRES GÉNÉRAUX. — EFFETS DES MARÉES SUR LES FLEUVES DÉBOUCHANT A LA MER. — DESTRUCTION DES CÔTES. — ALLUVIONS. — ATTÉRISSEMENTS.

Feu M. Lamblardie père, dans l'analyse du Cours d'architecture (constructions hydrauliques), qu'il avait fait à l'Ecole Polytechnique, analyse résumée au premier cahier du journal de cette école, s'exprime ainsi sur les ouvrages relatifs à la navigation extérieure :

« De toutes les parties de la science de l'ingénieur, celle qui traite de » la construction des ports maritimes et des rades, est encore la moins » avancée; nous n'avons sur cet objet intéressant que la description » de quelques ouvrages anciennement exécutés, et très-peu de grands » principes qui puissent guider sur la manière de bien projeter.

» Nous devons au célèbre Vauban les premiers travaux de ce genre ; » ils se trouvent décrits dans l'architecture hydraulique de Bélidor, mais » on a trop peu d'observations sur leurs défauts. En effet, Vauban, » plus occupé de l'art militaire, et surtout de l'attaque et de la dé- » fense des places de l'intérieur que des ouvrages maritimes, n'a jamais » pu consacrer tout le temps nécessaire pour observer les rivages de la » mer et ses effets. Cependant ce n'est que par des observations con- » stantes et réitérées sur les mouvements de la mer, la direction et l'effet » du vent, le gisement des côtes, la destruction des rivages, etc., que

» l'on pourra parvenir à établir les principes qui doivent servir à pro-
» jeter convenablement et à bien construire les ouvrages maritimes. Il
» ne paraît pas qu'on ait fait encore ou au moins publié beaucoup d'ob-
» servations de ce genre. Aussi depuis Vauban, et presque jusqu'à nos
» jours, on a pour ainsi dire servilement copié les projets que cet in-
» génieur a fait exécuter. »

L'objet de cette dernière partie du présent résumé est de réduire un peu la grandeur de la lacune que feu M. Lamblardie signalait.

Définitions. Un port en général est un espace plus ou moins étendu que l'eau remplit constamment, ou par intermittences; dans lequel des navires d'un tirant d'eau et de dimensions plus ou moins considérables peuvent se réfugier pour échapper à l'ennemi et au mauvais temps, pour se réparer, ou pour prendre leur chargement et opérer leur déchargement.

Une rade est un espace de mer en avant d'un port et dans lequel les navires doivent trouver toujours une profondeur d'eau suffisante pour mouiller, et un fond assez mou pour s'ancrer et assez résistant toutefois pour que les navires puissent y tenir dans les tempêtes. Les convois s'y rassemblent; les bâtiments y attendent le moment favorable, soit pour sortir, soit pour entrer.

Les rades sans abri, exposées aux vents régnants, s'appellent *rades foraines*. Les rades de *relâche* sont celles qui sont isolées sur la côte, et qui n'ont aucun port en arrière d'elles.

Les ports et rades sont de deux espèces; ceux qui sont sujets à des dénivellations périodiques ou marées, comme les ports et rades des côtes de l'Océan; et ceux où ces dénivellations sont peu considérables ou à peine sensibles, comme dans les ports et rades de la Méditerranée, de la Baltique, de la mer Caspienne, etc., etc.

Les uns et les autres se classent en ports et rades de commerce, ports et rades militaires.

Les deux espèces de rades, dans le voisinage des grandes places commerciales et des points militaires, doivent présenter des petites rades isolées pour les quarantaines, et voisines des lazarets. La rade de Pomègue à Marseille, indiquée dans les figures 500 des planches, est une des mieux appropriées aux besoins du service sanitaire.

Figures 500 des planches.

Dans les ports sujets aux marées, on distingue les ports *d'échouage*, c'est-à-dire, ceux qui ne conservent pas naturellement dans les basses

mers, assez d'eau pour le mouillage des navires qui peuvent y entrer ou en sortir à la marée haute.

Ces ports d'échouage n'étant pas accessibles aux basses mers, et ne l'étant souvent qu'à haute mer, ont besoin plus que tous autres de rades extérieures où les bâtiments puissent dans les mauvais temps jeter l'ancre, jusqu'au moment où la marée leur procure une profondeur d'eau suffisante pour atteindre le port.

Les ports sont tantôt placés sur les côtes, comme ceux de Dunkerque, Calais, Dieppe, Cherbourg, Saint-Maló, La Rochelle, Port-Vendres, Cette, Marseille et Toulon; tantôt à l'embouchure des fleuves ou rivières considérables, comme le Hâvre, Brest, Lorient, etc., etc., ou dans l'intérieur de ces fleuves comme les ports d'Anvers, Londres, Liverpool, à l'étranger; Rouen, Nantes, Rochefort, Bordeaux, Bayonne, en France.

Généralement les ports sans marées notables sont situés à la côte, parce que là seulement on pouvait obtenir une hauteur d'eau suffisante.

Mais avant d'entrer dans les détails relatifs aux ports et aux rades, on va exposer les principaux phénomènes que présente la mer.

Le vent qui, jusques dans ces derniers temps, était le principal moteur de la navigation extérieure, soit de cabotage et le long des côtes, soit de long cours, règne sur la mer dans toutes les directions. Il est des latitudes, sous les tropiques, où sa direction varie régulièrement et à époques déterminées. Du vent.

Mais sur les côtes de l'Océan et de la Méditerranée, il n'y a aucune régularité ni dans sa direction, ni dans sa force. Seulement dans les divers pays il y a des vents *régnants* bien déterminés, et qui sont assez généralement ceux des tempêtes. Ainsi, dans la Manche et sur les côtes nord de la Bretagne, ce sont les vents du sud-ouest et d'ouest; sur les côtes sud de la Bretagne et jusqu'aux Pyrénées, ce sont les vents compris entre l'ouest et le sud; enfin, dans la Méditerranée les vents régnants sont: le *sirocco* ou levante, dit aussi vent marin, qui souffle du sud-est; le sud-ouest dit *libiccio*; et le *mistral* soufflant du nord-est, et venant de terre; enfin le *tramontano* soufflant du sud.

On sait que la vitesse et la force du vent varient entre des limites très-distantes, et qu'elles sont évaluées comme suit, en supposant que les efforts du vent croissent comme les quarrés des vitesses.

(*Annuaire du bureau des Longitudes de* 1818.)

QUALIFICATION DU VENT.	VITESSE par seconde.	EFFORT DU VENT dans le sens de sa direction, sur une surface normale et par mètre quarré.
	m.	kil.
Brise légère	0,50	0,027
Brise douce	1,00	0,1086
Vent médiocre	2,00	0,4344
Vent assez fort	5,50	3,285
Vent fort	10,00	10,86
Vent très-fort	20,00	43,44
Tempête	22,50	55,00
Grande tempête	27,00	79,20
Ouragans	36,00	140,74
Ouragan qui renverse les édifices et déracine les arbres	45,00	220,00

On sait aussi que dans les pays de plaine la direction du vent est descendante et fait avec l'horizon un angle d'environ 18°20′.

Il résulte de cette direction et des vitesses précédentes, que le vent, suivant qu'il souffle dans le sens d'un cours d'eau ou dans le sens opposé, peut, par son action sur les couches superficielles de l'eau, accélérer ou retarder leur marche et y déterminer de plus comme dans une eau tranquille des dépressions alternant avec des gonflements. Ces reliefs et creux d'eau s'appellent *ondes*, *lames* ou *vagues*, ils sont d'autant plus forts que le vent règne sur une plus grande étendue d'eau et souffle plus longtemps dans la même direction et avec la même intensité.

Lorsque sa direction est en sens opposé à celle des courants de l'eau, ou bien lorsque cette direction passe *subitement* elle-même en sens opposé; par des vents des vents de terre rencontrent des lames formées au large enfin lorsque soufflant vers les côtes, la mer devient *très-houleuse*. C'est même là un signe météorologique bien connu des marins.

Pour donner une idée de l'action du vent sur les eaux tranquilles, Franklin rapporte que sur une vaste pièce d'eau de 3 lieues (13500 mèt.) de large, 3 pieds anglais (0m,90) de profondeur, un vent fort mit à sec tout un côté de cette sorte d'étang, et en même temps éleva de 3 pieds (0m,90) le niveau primitif sur la rive opposée; en sorte que la profondeur de l'eau y était parvenue à 6 pieds (1m,80) au lieu de 3 pieds.

Des ondulations, lames et vagues.

Le vent par son action sur les matières ténues et mobiles, comme le sable, peut aussi leur servir de véhicule dans l'air, ou les faire cheminer

progressivement dans sa direction, comme dans les dunes de plusieurs côtes maritimes, et notamment dans celles du golfe de Gascogne.

On appelle *ondulations* les exhaussements et abaissements des oscillations alternatives des eaux dans le sens vertical; les *lames* sont des ondulations allongées telles qu'elles existent en pleine mer dans des eaux profondes ou sur les côtes par un temps calme. Les vagues sont des lames violentes déterminées par les ouragans et brisant sur des hauts-fonds, des récifs, ou sur des côtes abruptes.

On trouvera dans l'ouvrage de Brémontier intitulé : *Recherches sur le mouvement des ondes*; dans des articles de M. Poncelet, académicien, et de M. l'Ingénieur Virla, insérés en 1831 et 1835, dans les *Annales des ponts et chaussées*; dans l'ouvrage de M. le colonel Emy, intitulé *Mouvement des ondes*, des observations et des explications plus ou moins plausibles relatives au jeu des ondulations.

On se bornera à rappeler ici qu'une onde se compose d'un relief audessus du niveau de l'eau calme, et de deux demi-creux latéraux; que les ondes par elles-mêmes n'ont, malgré leurs mouvements apparents de translation, qu'un simple mouvement alternatif d'élévation et d'abaissement, tel que si l'on place à leur surface un corps flottant, il ne quitte point la verticale ou que s'il s'en écarte, c'est particulièrement vers le milieu du flanc de chaque onde.

On a comparé avec vérité ce mouvement des eaux à celui d'une vis à filet qu'on fait tourner sur des points fixes, et aux ondes que forment les épis d'un champ battus par le vent.

Les ondes ne modifient point le cours naturel des eaux sur lesquelles elles se développent; ainsi un corps flottant à la surface des eaux d'un courant, chemine avec le courant malgré les ondulations superficielles.

Celui-ci les entraîne avec sa vitesse sans rien changer au mécanisme de leur mouvement d'oscillation; ainsi, suivant que les ondes marchent en sens contraire ou dans le même sens que le courant, leur vitesse *apparente* est la différence ou la somme de leur vitesse *propre* et de celle du courant; en appelant *vitesse propre* des ondes celle qu'elles auraient si l'eau était stagnante. L'on a observé quelquefois cependant, dit M. le colonel Emy, à l'embouchure des fleuves, que la vitesse des ondes venant de la mer étant sensiblement égale à celle du courant fluvial, il se manifestait à la surface du fleuve des *bourrelets immobiles* à la forme desquels le courant était forcé de se plier.

Les ondulations dues au vent, ou à toute autre cause, peuvent se su-

perposer sur des ondulations préexistantes provenant de causes semblables ou différentes. Enfin l'expérience prouve que des ondulations pourraient se croiser en tous sens, comme les ondulations lumineuses ou sonores, et sans être arrêtées ni morcelées les unes par les autres. Il peut arriver seulement, ainsi que Brémontier l'a remarqué, que deux flots d'ondulations *distinctes* coïncident à des intervalles de temps plus ou moins éloignés, et occasionnent périodiquement des lames plus élevées que celles qui les précèdent ou suivent.

Les directions des ondes liquides sont d'ailleurs susceptibles d'être infléchies, réfléchies comme des rayons sonores ou lumineux. On appelle *lames de reflexion* celles qui éprouvent des déviations.

M. le colonel Emy attribue les espaces sans vagues que l'on remarque quelquefois au milieu de l'agitation de la surface de la mer, à des vagues; égales et superficielles, marchant dans le même sens, avec une petite différence de vitesse, et dont la combinaison forme une contrariété de mouvement qui détruit immédiatement toute ondulation au point où ces vagues s'atteignent, et jusqu'à ce que d'autres ondes s'y soient propagées de nouveau.

Du clapotage.

Le même auteur attribue l'effet nommé *clapotage*, à deux ondulations égales superficielles se propageant dans des directions opposées. Il le décrit comme suit : « Quand il est simple, il produit l'apparence de deux » ondulations égales très-aiguës, qui se pénètrent et se montrent alternati- » vement, les flots de l'une s'élevant à la place de ceux de l'autre ; sans au- » cune translation horizontale de leurs formes, mouvement qui a quelque » ressemblance avec celui des clapets et soupapes des pompes.

Figures 501 des planches

» Le clapotage multiple résulte de deux ou plusieurs clapotages simples » qui se croisent ; les flots du clapotage sont alors comme *mamelonnés*. » Dans un clapotage double les flots sont distribués dans les losanges que » dessinent les zônes sur lesquelles les molécules de l'eau ont le moins de » mouvement.

» Il arrive fréquemment que le clapotage, même multiple, se combine » avec des ondulations courantes, simples ou multiples, de façon que les on- » dulations clapoteuses paraissent s'agiter sur les grandes ondes de la même » manière que nous avons vu de petites ondes se propager sur les grandes. »

Les ondulations, quand elles proviennent d'une cause instantanée, comme la chute d'un corps, se transmettent par anneaux circulaires concentriques, d'abord d'un faible relief et creux, puis grossissant jusqu'à une certaine distance. Brémontier a cru remarquer que le maximum correspondait au septième anneau, et que l'onde s'affaiblissait ensuite

de nouveau et progressivement Les oscillations de l'eau dans ces divers anneaux, comme dans les ondulations produites par l'action continue du vent, sont *isochrones*.

Cette analogie, avec les oscillations de l'eau dans un tube recourbé, semble corroborer l'assimilation faite par Newton, et admise jusqu'à ce jour, entre les ondulations des eaux dues au vent ou à d'autres causes, et les oscillations de l'eau dans un syphon rectiligne ou curviligne. L'équivalence des surfaces de creux et de gonflement d'une ondulation fluide, et l'incompressibilité de l'eau semblent venir à l'appui de cette hypothèse, qui est toutefois combattue aujourd'hui par des Ingénieurs distingués, et particulièrement par M. le colonel du génie Emy. (Voir les *Annales des ponts et chaussées* de 1837.) Figures 502 des planches. Hypothèses sur les ondulations.

Ce dernier, par des inductions extrêmement ingénieuses, est arrivé à considérer les molécules d'eau des ondes comme animées de mouvements *orbitaires* simples ou complexes dont les croisements forment les surfaces apparentes des ondes. Il explique par là d'une manière plausible un grand nombre des faits observés sur les ondes : toutefois ce système rencontre aussi de nombreux contradicteurs, surtout dans les explications relatives aux croisements d'ondulations *multiples simultanées*. Figures 503 des planches.

Dans la première hypothèse, plus généralement admise, le mouvement vertical des molécules liquides serait transformé, *à la limite inférieure de l'agitation de la mer*, en mouvement horizontal de communication entre les eaux déprimées dans une des branches d'un syphon et exhaussées dans l'autre.

On avait pensé longtemps que l'agitation de la mer s'arrêtait à une profondeur d'environ 5 mètres en contre-bas du *niveau de l'eau calme*. Profondeur de l'agitation de la mer. Cette opinion est encore accréditée dans la Méditerranée. Mais Brémontier a prouvé que cette agitation dans les tempêtes s'étendait dans beaucoup de cas à des profondeurs énormes, et qu'au banc de Terre-Neuve entre autres, elle descendait jusqu'à 160 mètres.

Au sud du cap de Bonne-Espérance, la mer est houleuse sur des rehaussements de fond où il reste encore plus de 200 mètres de profondeur. Des faits nombreux plus récents observés à Cherbourg, ont confirmé que si, dans les tempêtes, l'agitation superficielle de la mer y diminuait *dans le même point* avec la profondeur des eaux ; elle n'y était point éteinte à 5 mètres de profondeur. Mais il est évident aussi que de la violence de cette agitation dépendra la limite en profondeur où le trouble superficiel cesse d'être sensible.

La hauteur *ordinaire* entre le sommet et le creux des vagues, se *déve-*

loppant librement, est de 4 à 5 mètres près de Cherbourg ; de 6 à 7 mèt. dans le golfe de Gascogne ; de 3 mètres à $4^{m},50$ dans la Méditerranée ; de $2^{m},60$ dans le lac de Genève.

D'après Brémontier, les ondes ou les lames ordinaires ont pour base (distance horizontale d'un creux à l'autre) quatre fois la demi-distance entre leurs creux et leurs sommets. M. l'Ingénieur Virla, partant du principe

Formes et dimensions des ondes.

d'assimilation de Newton, a trouvé pour la courbe d'une ondulation *développée librement*, la projection d'une hélice sur un plan passant par l'axe

Figures 504 des planches

d'un cylindre horizontal dont la base serait un cercle. Ce cercle aurait un rayon égal à la demi-différence entre le fond du creux et le sommet de l'onde. Cette courbe reproduit assez bien par sa forme, à la fois les ondes déterminées par la chute d'un corps grave et celles des grandes ondulations ou intumescences des marées.

Les vagues prennent une forme inclinée dans les ouragans par l'effet de pression qu'un vent violent exerce sur leurs flancs ; elle est représentée dans les fig. 505 des planches. La percussion de cette espèce de vagues contre une côte *accore* est beaucoup plus forte que quand les ondes

Figures 505 des planches.

ont leurs axes verticaux ; parce qu'indépendamment de leur inclinaison, elles sont ordinairement animées d'une grande vitesse.

Lorsque le vent acquiert tout à coup une grande intensité, et que sa direction du reste, inclinée à l'horizon, coïncide à peu près en plan avec celle des ondes, soit dans le même sens, soit dans le sens contraire, il se manifeste

Figures 506 des planches

un effet connu sous le nom de *moutonnement*, représenté dans les figures 506 des planches. La mer, vue alors de quelque distance, semble couverte de moutons ; de là l'allégorie mythologique du pasteur *Protée*.

M. Virla est arrivé pour le temps d'une oscillation double ou le temps qu'une onde met à s'élever et à s'abaisser à $T=\frac{2\pi}{n}$ (n étant un coefficient qui dépend de la durée de l'onde double) ; puis supposant que le mouvement des molécules liquides syphonantes reste vertical jusqu'à la limite inférieure de l'agitation, et appelant h la profondeur verticale de l'agitation, L la longueur de l'ondulation ou la distance horizontale entre deux creux consécutifs, v la vitesse d'une oscillation par seconde $=\frac{L}{T}$. Il pose, d'accord avec les observations de Brémontier,

$$T=2\pi\sqrt{\frac{4h+L}{4g}} \qquad v=\frac{L}{\pi}\sqrt{\frac{g}{4h+L}} \qquad L=\frac{v\pi}{2g}\left(v\pi\pm\sqrt{16g^2h+1}\right).$$

Il ressort de ces formules : que la durée d'une oscillation augmente avec la longueur des ondes et avec la profondeur de l'agitation ; que la vitesse augmente aussi avec la longueur, mais diminue avec la profondeur de l'agitation ; que ces expressions sont indépendantes de la hauteur de l'ondulation ; d'où il s'ensuivrait que dans des lames dont la hauteur est faible et qui ont une grande longueur, l'agitation pourrait encore s'étendre sur des hauts-fonds placés à un niveau très-bas. On a observé des ondes qui n'avaient que 5 centimètres de hauteur pour 30 mètres d'amplitude.

M. Virla, partant des données d'expériences du port de Cherbourg, où par un vent de nord forcé, *mais sans tempête*, l'on avait observé $T = 6''50$, $L = 26$ mèt. $v = 4$ mèt., arrive à $h = 4^m,25$.

Pour d'autres données où $h = 15$ mèt. $v = 3$ mètres, il a obtenu $L = 28$ mèt., ce qui, en adoptant la proportion de $4 : 1$ pour la hauteur, correspondrait à 7 mètres de hauteur des vagues. M. Virla trouve $h = 99$ mètres pour les grandes ondes de 40 mètres de longueur et 20 mètres de vitesse; enfin, pour des vagues de 60 mètres de longueur avec une profondeur d'agitation de 160 mètres, la vitesse des ondes serait de $2^m,22$, et la durée de leur oscillation de $27''$.

D'après les observations de M. Vionnois, Ingénieur des ponts et chaussées, les vagues dans la baie de Saint-Jean-de-Luz, ont dans les tempêtes des amplitudes de 300 à 400 mèt., et des vitesses d'oscillation de 13 et 20 mèt. par seconde.

Si en contre-haut du point de la profondeur des eaux où cesse l'agitation des hauts-fonds, les ondulations de la mer rencontraient des récifs, ou si, à la profondeur de leurs creux visibles, elles rencontraient des plages verticales ou diversement inclinées à l'horizon, il y aurait des effets très-variés et qui dépendraient de la direction de ces plages par rapport aux vents régnants.

Brémontier cite, dans les paragraphes 31, 32, 33 et 34 de son ouvrage, des gonflements de vagues de 2 et 3 mètres de hauteur occasionnés par des rochers qui étaient à 9, 12 et même 13 mètres au-dessous du niveau de la mer calme, tandis que les vagues ne se brisaient point à l'entour d'autres rochers où la profondeur d'eau n'était que de 6 à 7 mètres. D'un autre côté, il est notoire qu'un simple resserrement superficiel à l'entrée d'un bassin d'une grande étendue opéré avec des corps flottants immergés de $0^m,20$ à $0^m,30$, et émergés d'autant, suffit pour rendre la mer beaucoup plus hou-

leuse dans le passage quand les vagues arrivent perpendiculairement à ce débouché resserré.

Raccourcissement des ondes, clapotage, ressac.

M. Virla explique les effets produits par une paroi abrupte, à la fois immergée et en saillie sur l'eau, connus sous le nom de *raccourcissement des ondes*, en faisant observer que les ondes réfléchies par la paroi, et l'ondulation directe marchant dans des sens opposés, les vitesses des eaux syphonantes s'ajoutent ou se retranchent selon que deux flots ou deux creux d'ondulation se rencontrent, et que l'effet de la réflexion est ainsi d'augmenter la hauteur et le creux des lames sans agir sur leur longueur. Dans la Méditerranée les lames sont plus courtes que dans l'Océan, probablement à raison du grand périmètre des côtes relativement à l'étendue superficielle des eaux.

Si l'augmentation de pression qui produit le raccourcissement des ondes devient considérable, elle rend les flots très-aigus; l'eau soulevée se brise et tombe en écumant, ou clapote. Ce même effet est encore produit quand le fond de la mer est parsemé d'une foule de monticules ou de rochers en contre-haut de la limite où l'agitation est insensible.

Enfin, la rencontre d'une lame *réfléchie* et *raccourcie* avec de grandes lames venant du large, produit souvent dans les tempêtes une réaction violente qu'on nomme *ressac*, laquelle est un peu au large de l'obstacle qui a donné lieu au raccourcissement des ondes réfléchies.

M. le colonel Emy décrit ainsi le ressac :

« La vague repoussée et en partie brisée en écume, est remplacée par un » creux beaucoup plus profond que ceux des autres ondes précédentes, et » qui peut laisser l'accore à sec lorsque son pied n'est pas à une grande pro» fondeur : on dirait que la mer se retire subitement. Mais l'eau revient » bientôt; elle semble se balancer : elle est *clapoteuse*. Dès qu'un commence» ment de repos, qui succède presque toujours à cette espèce de tourmente, » permet l'arrivée d'une nouvelle vague contre l'accore, il se fait une nou» velle répulsion de la masse liquide. On a observé de ces effets dans le » voisinage des immenses montagnes de glaces des mers polaires. Les bâti» ments mouillés dans le voisinage de l'accore, déjà ballottés par les ondes » directes, et surtout par les ondes clapoteuses, sont très-fatigués des sac» cades multipliées et intermittentes du ressac. Dans l'Océan, l'effet du ressac » s'affaiblit et s'éteint en s'éloignant beaucoup et à environ 600 mètres de » l'obstacle qui le produit, parce qu'une côte opposée ne contribue point à » l'entretenir. Mais sur les lacs resserrés à côtes accores, comme celui de

Wallenstadt en Suisse, qui n'a qu'une lieue de largeur sur 4 de longueur, et qui est très-profond; on remarque que quand le vent souffle avec force perpendiculairement à la longueur, les flots se dressent en vagues énormes comme les rochers à pic entre lesquels ce lac est encaissé.

Si la paroi abrupte, dont il a été question ci-dessus, se termine à peu de distance au-dessus de la surface de la *mer calme*, les réflexions qui résultent de la partie immergée de la paroi déterminent un surhaussement dans les lames ou un raccourcissement d'ondes. Mais de plus, la portion de la vague qui s'élève au-dessus de la crête de la paroi, ne rencontrant aucun obstacle, chemine vers l'intérieur de la côte avec une vitesse beaucoup plus grande que celle de l'ondulation originelle. Figures 507 des planches.

Lorsqu'au lieu d'une paroi abrupte, les lames frappent une surface à pente douce, *à la profondeur où règne l'agitation*; la transmission horizontale des pressions sera modifiée. L'expérience, d'accord avec le raisonnement, prouve que la vitesse ascensionelle de l'eau syphonante sera augmentée; que la sommité des vagues atteindra des points plus élevés au-dessus du niveau de l'eau calme que si la côte avait été abrupte; que cette surélévation croîtra d'un flot à l'autre jusqu'à ce que le dernier flot présente presque un flanc vertical vers la plage, moment où il déferlera, en vertu de la vitesse horizontale, due à sa plus grande hauteur. La rencontre de la lame déferlée, dite *lame de retour*, qui redescend la plage, avec la lame nouvelle qui la remonte, rend encore plus aiguë la forme du nouveau flot qui se brise à son tour. Lames de retour. Figures 508 des planches.

Des expériences rapportées par Bremontier (pages 40 et 44) tendaient à faire correspondre un plan incliné de 22° ½ de pente à l'horizon avec le maximum de hauteur du déferlement des vagues; mais ces expériences auraient besoin d'être répétées. Le seul fait qu'on puisse considérer comme avéré, c'est que l'excédant en hauteur de l'ascension des vagues sur un plan incliné, croît à mesure que ce plan s'abaisse depuis la limite de 90° où l'excédant est zéro, jusqu'à un angle indéterminé qui correspond au maximum; et que cet excédant décroît ensuite jusqu'à zéro, depuis cet angle jusqu'au moment où le plan arrive à la position horizontale.

Dans beaucoup de côtes et d'ouvrages hydrauliques, la forme inclinée de la plage se termine vers le haut avec ou sans raccordement par une paroi abrupte; alors il y a accumulation des effets indiqués ci-dessus pour chaque cas en particulier.

Si le niveau général de l'eau monte et descend, si des courants de flot

et jusant résultant des dénivellations de la marée, si la direction des vents d'ouragan, concourent avec les ondulations; les effets de ces dernières présenteront évidemment une multitude de variétés.

Effets des angles rentrants sur les ondes.

Ces effets atteignent une grande intensité dans le cas d'*angles rentrants* formés par les parois où les lames viennent se réfléchir. Bremontier et M. Virla, pour expliquer la hauteur énorme des jets d'eau observés dans ces circonstances particulières, joignent à l'effet de réaction incontestable des parois, l'élasticité d'un réservoir d'air qu'ils supposent enveloppé et comprimé dans les volutes des lames réfléchies, et qui transmet, selon eux, comme un ressort à chaque masse nouvelle d'eau réfléchie le choc instantané que ce volume d'eau aurait reçu; mais cette hypothèse n'est pas indispensable pour expliquer les faits.

Figures 309 des planches.

Lames sourdes.

Bremontier, dans les paragraphes 9 et 11 de son ouvrage, mentionne des lames *sourdes* qui sont au-dessous des autres ondes superficielles, et qui marchent souvent même dans des directions presque opposées. Ces lames qui ont de grandes ondulations que l'on observe surtout en pleine mer, même par les temps les plus calmes, et qui se font sentir jusques sur les côtes, peuvent être dues à des tremblements de terre, à des soulèvements du fond des mers, à des tempêtes au milieu des hautes mers de l'Océan. Elles ont été considérées comme de grandes ondes progressivement amorties.

Lames de fond.

Quand elles arrivent sur les côtes, elles réagissent de bas en haut si le fond ne leur permet plus de se développer, et gonflent doucement à la surface, ou *clapotent* en petites vagues inégales, suivant que le fond s'élevant en pente douce est sablonneux et uni, ou suivant que le même fond est inégal, parsemé de monticules ou de rochers. On conçoit que des lames ordinaires doivent produire des effets semblables, lorsqu'elles sont placées dans les mêmes circonstances.

Les lames de fond diffèrent des *flots de fond* dont M. le colonel Emy a parlé le premier, et sur lesquels il a fondé une théorie complète dans son mémoire sur le mouvement des ondes. Les nombreuses contradictions que cette théorie a soulevées sur l'existence même des flots de fond, dans une controverse encore très-active, déterminent à renvoyer pour cet objet au mémoire ci-dessus, et aux articles insérés par MM. les Ingénieurs Dulcau et Virla, dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1832, 1835, 1837 et 1838.

Effets des rétrécissements ou des élargissements sur les ondes et les lames.

Si dans un bassin liquide d'une étendue quelconque, on établit une séparation dirigée perpendiculairement à la marche des ondes ou

lames, la première portion de ce bassin, située du côté d'où viennent les lames, sera bien plus agitée dans les zônes voisines de la séparation qu'elle ne l'était précédemment; mais par compensation la deuxième portion du bassin en arrière de la séparation le sera beaucoup moins.

Cet effet provient de l'interruption dans la propagation des ondes, et de ce que les ondulations ne peuvent *s'accumuler*.

La différence ci-dessus se manifesterait même si la séparation était submersible. Elle serait encore bien plus tranchée si cette séparation était non-seulement insubmersible, mais surmontée de parois pleines ou à claire-voie qui empêcheraient ou atténueraient sur la deuxième partie arrière l'action du vent, toutes les fois que cette action aurait été la cause principale des ondes. Figures 510 des planches.

Si la séparation *hypothétique* était discontinue, chacun des pertuis qu'elle présenterait serait le centre de nouvelles ondulations concentriques dans la deuxième portion arrière du bassin; mais ces ondulations diminueraient d'autant plus vite de hauteur, que l'ouverture serait plus étroite relativement à la zône d'eau arrière qui lui correspondrait. Par compensation aussi la mer serait bien plus agitée dans les pertuis eux-mêmes et particulièrement à leurs raccordements avec les parois de séparation.

Ce qu'on vient de dire se vérifie sur de simples estacades ou pilotis établis à Ostende, à Yarmonth, à Cronstadt en Finlande, transversalement à la marche des ondes. Au nouvel embarcadère suspendu de la Trinité à New-Haven près Edimbourg, on a remarqué aussi que la violence des vagues était si bien rompue par l'assemblage de 60 pieux qui formaient au large une culée de 18 mètres quarrés, que les bâtiments pouvaient accoster en tout sens les escaliers de cette culée et débarquer les passagers.

Enfin, si en arrière des pertuis ci-dessus, se prolongeait dans le sens des ondes principales une sorte de canal qui aurait à peu près la même largeur que le pertuis, les ondes principales du dehors continueraient leur route dans le canal jusqu'à ce que par les frottements du trajet elles fussent complétement amorties. Ce dernier effet serait d'autant plus lent à se manifester, que les rives du canal seraient plus immergées en contre-bas du niveau des eaux, et il y aurait un maximum de retard si ces rives étaient continues et insubmersibles. Figures 511 des planches.

Lorsque les rives de ce canal, quoique insubmersibles, sont tronçonnées et que latéralement il y ait des zônes liquides et des plages douces, l'agitation de la mer dans le canal sera d'autant plus promptement atténuée

que les coupures seront plus nombreuses et que ces zônes liquides seront plus étendues.

Les principes ci-dessus exposés qui ont déterminé la construction des môles, des jetées et des claires-voies des ports et rades, résultent d'une multitude de faits et d'observations, indépendamment des expériences spéciales faites par Bremontier.

Effets des lames et des vagues sur le fond de la mer et les côtes.

Que l'on considère l'énorme force vive qui résulte de la masse d'eau en mouvement dans les ondulations de la mer; sa vitesse qui dans les tempêtes et dans certains parages a été trouvée de 13 à 20 mètres par seconde; la profondeur à laquelle l'agitation descend alors; et l'on s'expliquera facilement et *sans autres hypothèses*, par la simple comparaison avec les moteurs ordinaires et avec le cours des eaux dans les fleuves, l'action destructive des lames et des vagues dans chaque zône locale sur les corps déposés au fond de la mer et surtout sur les côtes. Ainsi M. Bremontier cite des appareils de pêche composés de 25 à 50 filets, chaque filet ayant 80 mètres de longueur et 2 mètres de hauteur, et étant chargé d'un poids de $7^{kil.},50$; ces appareils eux-mêmes étaient retenus par trois blocs pesant ensemble 75 kilog., jetés à la mer à deux et trois lieues de distance de la terre, par 16 et 19 mètres de profondeur, de manière que la partie supérieure fût de 12 à 15 mètres sous l'eau; ces appareils, en quelques jours de grosse mer, avaient été balottés, déplacés, roulés, repliés et transportés à plusieurs lieues de l'endroit où on les avait immergés.

Le même auteur, au § 39 de son ouvrage, cite des expériences faites pendant une mer peu agitée, où la hauteur des plus fortes vagues n'était que de 1 mètre à $1^{m},10$, sur des blocs placés au niveau de basse mer au pied d'une jetée inclinée. Deux heures après que la mer avait dépassé ce niveau seulement de $0^{m},30$; un bloc de 8 pieds ou ($0^{m.c.},27$) pesant environ 600 kil., était enlevé et jeté à la mer.

M. l'Ingénieur Virla, calculant l'effort des vagues à Cherbourg, est arrivé à le comparer *sous le rapport de la pression*, à l'action d'une colonne d'eau de $3^{m},60$, multipliée par la surface choquée. Il relate entre autres une caisse de béton du poids dans l'eau de 13,800 kilog., ayant $2^{mq},25$ de surface choquée, et qui adhérait au sol par une force qu'il a supposée équivalente à $13800 \times 0,58$; cette caisse commençait à glisser sous l'action des lames au large de la digue : elle avait été posée au sommet du plan incliné en enrochement qui s'enfonce en contre-bas du niveau des basses mers de vives eaux.

On a remarqué du reste à Cherbourg, que les aspérités des enrochements étendus sur une plage inclinée, usaient les mouvements des vagues, amortissaient leurs vitesses, diminuaient leur ascension, et que le maximum d'intensité des vagues contre la muraille en maçonnerie en exécution à la digue, correspondait à la hauteur de mi-marée, ou du plan moyen, c'est-à-dire, à 3 à 4 mètres en contre-bas de la crête de la muraille. Cette dimension est aussi celle de la profondeur ordinaire de l'agitation des ondes dans la rade de Cherbourg.

Au nouveau brise-lame de Cette, dans la Méditerranée, on a remarqué aussi que le maximum d'action des vagues était de $1^m,50$ au-dessous des basses mers, et qu'il décroissait ensuite jusqu'à 5 mètres plus bas en dehors du brise-lame, et jusqu'à 3 mèt. en dedans du côté de l'intérieur : il y a d'ailleurs des courants violents dans la passe du N.-E. lorsque les vents soufflent entre le nord-est et le sud. Nouveau brise-lame de Cette.

On reviendra plus bas sur l'action érosive des vagues sur les côtes, combinée avec les effets des eaux pluviales et des gelées. On reproduira seulement ici des chiffres présentés dans le mémoire de feu M. Lamblardie père, sur les côtes de la Haute-Normandie. La côte au nord du Havre, sur un développement de près de 224,000 mèt., perd par an une couche verticale de $0^m,33$ d'épaisseur horizontale. La hauteur des couches de silex, dans les falaises, est de 5 mèt.; ce qui produit annuellement 369,600 mèt. c., dont feu M. Lamblardie prenait d'abord les $\frac{2}{5}$ ou 147,800 mèt. c. pour avoir la masse de silex pur détaché; puis le tiers du reste pour tenir compte des particules perdues par l'arrondissement des galets. Ainsi la production annuelle de galets serait de 49,266 mèt. c. pour 224,000 mèt. de longueur de côtes, et par hectomètre de 22 mèt. c.

Les causes et les calculs du phénomène des marées sont développés dans les immortels ouvrages de M. de La Place, la *Mécanique céleste* et l'*Exposition du système du monde*; les résultats sommaires sont reproduits dans l'*Annuaire du bureau des longitudes*. Des marées.

L'action simultanée de la lune et du soleil sur la masse des eaux continues qui couvrent le bassin d'une partie du globe, détermine une intumescence périodique, dont la marche et la hauteur dépendent : de la position respective des astres, soit entre eux, soit par rapport aux divers points du globe; et de la masse et de l'étendue superficielle des eaux. Cette intumescence qui à l'Equateur n'a que quelques pieds de hauteur ($0^m,80$ à 1 mèt.), n'est qu'une grande *ondulation* partant des

régions intertropicales, tournant avec la terre, de la même nature que celles dont il a été parlé plus haut, et qui par transmission arrive dans les deux hémisphères.

M. Whewell, dans un mémoire très-estimé, sur les marées et les lignes *cotidales*, inséré aux *Transactions philosophiques* de 1833, et qu'on fera bien de consulter; remarque que la marée n'atteint le port de Brest que 36 heures après l'époque de la plus grande action des astres, et ne parvient à Londres que 2 jours ½ après. Ce dernier retard est probablement le temps nécessaire à l'*ondulation ouest* des marées, pour passer entre l'Irlande et l'Angleterre, contourner l'Ecosse et de là entrer dans la Tamise, en marchant du nord à l'est. Le mouvement de transmission de cette ondulation qui a une vitesse de 10 degrés de latitude par heure dans certaines parties de l'Atlantique, est réduit à celle d'un degré ½ par heure dans la zône, entre la pointe sud de l'Irlande et la pointe nord de l'Ecosse. Enfin dans la Manche, canal très-resserré, la vitesse de l'ondulation en marchant du sud vers le nord, n'est guère que de 40 milles (64,000 mètres environ) par heure, ou de 17 à 18 mèt. par seconde.

M. de La Place s'exprime ainsi dans l'Exposition du système du monde :
« La grandeur des marées dépend beaucoup des circonstances locales.
» Les ondulations de la mer resserrées dans un détroit, peuvent devenir
» fort grandes. La réflexion des eaux par les côtes opposées, peut les aug-
» menter énormément, surtout dans les angles rentrants d'une même côte.
» C'est ainsi que les marées, généralement fort petites dans les îles de la
» mer du sud, sont considérables dans les ports français de l'Océan. Si l'Océan
» recouvrait un sphéroïde de révolution, et s'il n'éprouvait dans ses mou-
» vements aucune résistance, l'instant de la pleine mer serait celui du
» passage de la lune au méridien supérieur ou inférieur; mais il n'en est
» pas ainsi dans la nature, et les circonstances locales font varier consi-
» dérablement l'heure des marées dans des ports même voisins. Pour avoir
» une idée juste de ces variations, imaginons un large canal communi-
» quant avec la mer, et s'avançant fort loin dans les terres, il est visible
» que les ondulations qui ont lieu à son embouchure, se propagent suc-
» cessivement dans toute sa longueur; en sorte que la figure de la surface
» sera formée d'une suite de grandes ondes en mouvement qui se renou-
» velleront sans cesse, et qui parcourront leur longueur dans l'intervalle
» d'un demi-jour. Ces ondes produiront à chaque point du canal, un flux
» et un reflux qui suivront les lois précédentes; mais les heures de flux

» retarderont à mesure que les points seront plus éloignés de l'em-
» bouchure. »

La dénivellation des eaux dans chaque point est la plus grande que possible dans les *sysigies* ou nouvelles et pleines lunes de chaque mois, et particulièrement des équinoxes. Ces marées s'appellent marées de *vive eau*. La dénivellation des eaux est la moindre que possible, toutes choses égales d'ailleurs aux *quadratures* (quartiers lunaires), particulièrement au solstice d'été ; les marées s'appellent alors *marées de morte eau*.

Dans chaque point des côtes ou de la mer, la mer est deux fois haute et deux fois basse en 24 h. 48'. Toutefois on cite quelques localités qui jouissent de deux flux et de deux reflux en 12 heures. Ainsi dans un ouvrage du docteur Inglice, mentionné dans les *Annales maritimes et coloniales* de 1832, on indique pour ce fait le port de Poole, situé à l'embouchure de la rivière de Southampton, en Angleterre, à peu près vis-à-vis le port du Havre. Aussi cet auteur anglais assigne à ce phénomène la même cause qu'à l'*étale* de deux à trois heures de haute mer qui existe au Havre. Dans des localités où ce phénomène ne se manifeste pas habituellement, il a lieu accidentellement par de fortes tempêtes. Les soulèvements momentanés du globe par des tremblements de terre ou par des causes intérieures peuvent produire également et ces doubles flux et reflux, et les violents *raz de marée* des régions intertropicales.

Les époques de la pleine mer retardent d'un jour à l'autre pour revenir aux mêmes heures aux sysigies.

Bélidor rapporte qu'aux îles de Cuba et de Saint-Domingue, le flux et reflux ne se manifestent, d'une manière sensible, que tous les quinze jours des pleines et nouvelles lunes, et seulement tous les six mois aux équinoxes dans les golfes du Mexique et sur quelques rivages de la Méditerranée.

L'heure d'établissement de la marée dans un point déterminé des côtes ou de la mer, résulte de l'intervalle de temps dont la pleine mer suit le passage de la lune au méridien lors des nouvelles et pleines lunes.

L'Annuaire du bureau des longitudes donne, par des tables, les moyens de calculer l'heure de la pleine mer dans un point quelconque du globe pour lequel on connaît l'heure du passage de la lune au méridien. Dans les villes maritimes, les calendriers locaux indiquent pour chaque jour les heures de pleine et basse mer, en supposant que le retard quotidien soit constant, ce qui n'est pas exact.

Le même annuaire relate les heures de l'établissement dans les princi-

paux ports de l'Océan, avec les longitudes au méridien de Paris : déjà Bélidor avait consigné des indications analogues dans le tome 4 de son Architecture hydraulique. En les rapprochant des cartes maritimes, et en dirigeant l'attention sur les points qui ont des marées contemporaines ou *cotidales*, on reconnaitra la marche de l'ondulation des marées, et les modifications qu'y apportent les saillies et renfoncements des côtes, et qui sont signalées dans l'extrait ci-dessus de l'ouvrage de M. Delaplace.

Marées cotidales.

Figures 512 des planches.

La carte (figures des 512 planches) représente les marées cotidales à l'entrée de la Manche et du canal Saint-Georges.

Dans chaque poiut des côtes ou de la mer, si l'on représente graphiquement par des courbes les ascensions et abaissements de la mer, observés tous les jours et pendant plusieurs années consécutives; et que l'on prenne pour abscisses des courbes les jours des mois lunaires et pour ordonnées les côtes de la mer observées, on remarquera que la forme des courbes se rapproche, *sauf les anomalies dues au vent et aux circonstances atmosphériques*, des ondulations formées par le vent sur une surface d'eau tranquille : on a déjà dit que M. l'Ingénieur Virla assigne pour ces dernières la projection d'une hélice sur un plan passant par l'axe d'un cylindre horizontal autour duquel l'hélice serait tracée.

Figures 504 des planches.

Il serait d'une haute importance que dans toutes les villes et ports maritimes à marées, des registres fussent tenus, mois par mois et année par année, et qu'ils continssent les tracés graphiques des ondulations de la marée, afin qu'on pût y coordonner les opérations navales et la marche des travaux à exécuter à la mer. Le zéro des observations devrait être repéré avec le plus de notoriété que possible relativement à des objets fixes et d'une longue durée. Les observations devraient être faites avec de bonnes montres, et sur des échelles suivies par des hommes de confiance, ou mieux avec un hydromètre mécanique analogue à celui de Cherbourg, représenté dans les figures 513 des planches.

Figures 513 des planches.

Variations diurnes de la marée.

Les variations diurnes de la marée depuis la basse mer qu'on appelle *ebe* ou *jusant* jusqu'à la haute mer qu'on appelle *flot*, sauf toujours les anomalies dues aux circonstances atmosphériques, peuvent être également représentées par des courbes dont les abscisses sont les diverses parties des temps, et les ordonnées les hauteurs successives de la marée observée, comme il a été dit tout à l'heure. Ces courbes qui sont tangentes haut et bas à des lignes horizontales, correspondent assez bien à des paraboles à *exposant fractionnaire* qui seraient tangentes entr elles à la hauteur de

mi-marée. M. de Laplace, dans l'*Exposition du système du monde* (t. 2, pag. 71), donne pour les courbes de dénivellation diurne, la loi exacte $x=\beta\left[1-\text{cosin.}\left(\frac{\pi y}{T}\right)\right]$ où x est la hauteur de la mer qui s'est élevée après le temps y, t le temps total de l'ascension de la marée et de sa descente, β la demi-amplitude de la dénivellation totale.

Il résulte de ces lois d'ascension et d'abaissement de la marée diurne, une circonstance importante pour la navigation, les opérations navales, et pour les travaux *à la marée*; c'est que les variations de la marée d'abord insensibles aux approches des basses et hautes mers croissent rapidement, et sont à leur maximum vers la mi-marée, et décroissent ensuite symétriquement vers leur terme opposé. Il est à remarquer que le temps de l'ascension diffère toujours de celui de la descente, et dans quelques localités même ces deux mouvements sont séparés, comme on l'a déjà dit, par *une étale* ou état stationnaire de la mer, qui se prolonge quelquefois de plus de deux heures, comme à Honfleur, au Hâvre, à l'embouchure des rivières d'Orne et de Dive, et à un point de la côte française de la Manche, au nord du cap d'Antifer, entre Fécamp et le Hâvre.

L'explication d'une étale prolongée est complexe. Ce phénomène se manifestant habituellement aux embouchures des rivières et des fleuves, peut provenir de trois causes concourantes: 1° le déversement *dynamique* des eaux de la mer dans le lit des fleuves, tel qu'il résulte de la forme et de la grandeur de l'orifice de l'embouchure; 2° la transmission de l'ondulation des marées du large; 3° le cours descendant des eaux douces.

L'importance relative de ces causes doit dépendre d'ailleurs d'un si grand nombre de circonstances locales, que l'on ne pourra probablement jamais l'apprécier, même par des comparaisons multipliées dans les divers points où le phénomène en question est permanent. Ce ne sera donc qu'avec la plus grande circonspection, et à l'aide de tâtonnements nombreux qu'on devra modifier par des ouvrages d'art l'action de l'une quelconque des trois causes ci-dessus.

Le plan ou *niveau moyen* est le niveau fictif auquel les eaux se tiendraient en chaque point sans l'action du soleil et de la lune. On prend pour unité de hauteur, dans l'Annuaire du bureau des longitudes, la moitié de la hauteur moyenne de la marée totale diurne qui arrive un jour ou deux après la sysigie, lorsque le soleil et la lune, au moment de la sysigie, sont dans l'équateur et dans leurs moyennes distances à

la terre. On rappelle d'ailleurs que les plus grandes marées suivent d'un jour et demi environ la nouvelle et la pleine lune.

L'unité de hauteur est donnée dans l'Annuaire du bureau des longitudes pour quelques ports; mais si l'on compulse plusieurs années d'observations, on voit que le plan moyen et l'unité de hauteur éprouvent beaucoup de variations. On peut obtenir du reste cette unité par diverses combinaisons, par exemple, en prenant pour le plan moyen la moyenne de toutes les hautes et basses mers par année, ou *par groupes d'années*.

L'Annuaire du bureau des longitudes indique aussi chaque année les coefficients par lesquels il faut multiplier l'unité de hauteur de chaque port pour avoir la hauteur au maximum présumé de la marée dans les sysigies, au-dessus du plan moyen des sysigies, et sa profondeur au-dessous.

Mais l'expérience prouve que les circonstances atmosphériques, et surtout l'action du vent, peuvent, dans certaines localités, augmenter ou diminuer de plus de $0^m,30$ les hauteurs calculées; indépendamment de cette considération, ces hauteurs calculées sont souvent peu d'accord avec celles qu'on observera.

Heures d'établissement des marées, unités de hauteur, et hauteurs du niveau moyen.

Le tableau ci-dessous présente, en même temps que les heures d'établissement, la distance du plan moyen au niveau des plus basses mers observées, c'est-à-dire au zéro des cartes marines pour les principaux ports de France. Ces éléments ont été tirés de l'Annuaire du bureau des longitudes, et des observations de M. Daussy, ingénieur hydrographe, insérées aux *Annales maritimes* de 1832, et dans la *Connaissance des temps* de 1837.

Il sera utile également de mettre ces résultats en regard des positions géographiques pour apprécier les influences des configurations des côtes sur les ondulations des marées, et y retrouver sur une grande échelle les effets remarqués dans les ondulations dues à l'action du vent. Ainsi les plus grandes marées s'observent sur les côtes qui présentent une barrière au mouvement de l'ondulation. Cette ondulation présente une courbe convexe vers l'est, lorsqu'elle pénètre par le sud dans la Manche, entre Brest et la partie méridionale de l'Angleterre. Le cap de la Hague, qui termine la presqu'île du Cotentin brise l'ondulation, et produit la grande dénivellation des marées sur la côte de Granville. Cette dénivellation atteint son maximum au Mont-Saint-Michel, parce que dans ce point rentrant, convergent deux côtes inclinées l'une par rapport à l'autre.

Figures 512 des planches.

Des baies profondes, un bras de mer qui se resserre de plus en plus,

des relèvements de fonds, des îles et des rochers qui arrêtent le mouvement de transmission, sont comme dans les ondulations ordinaires, les causes principales des dénivellations des marées que le tableau ci-après manifestera.

Observations de M. l'Ingénieur hydrographe Daussy.

	HEURES d'établissement.	UNITÉ de hauteur.	HAUTEUR du niveau moyen.	OBSERVATIONS.
	h m.	m.	m.	
Dunkerque.	11,45	(1)		(1) Les observations faites dans ces localités ont manifesté des différences sensibles entre les marées de morte et vive eau ; les causes, et la loi qui réunit leurs effets ne sont pas encore bien déterminées. On peut supposer que la rencontre vis-à-vis Calais et Dunkerque, des deux grands courants d'ondulations de marées, venant, l'un du sud par la Manche, l'autre du nord par la mer d'Allemagne, après avoir contourné l'Irlande et l'Ecosse, produit ces anomalies. On remarque, du reste, que dans la Manche, les amplitudes de marées vont en augmentant depuis Cherbourg jusqu'à Calais, et en diminuant depuis Calais jusqu'à l'embouchure du Texel ; tandis que sur la rive opposée d'Angleterre, les marées sont très-fortes.
Calais.	11,45	(1)		
Boulogne.	10,40	(1)		
Saint-Valery-sur-Somme.	10,35	(1)		
Dieppe.	11,11	4,62	4,68	
Fécamp.	10,43	4,03	3,95	
Le Hâvre.	9,57	3,79	4,51	
Honfleur.	9,34	3,87	3,92	
La Hougue.	8,48	3,09	3,76	
Barfleur (cap de la Hague)	8,2 à 8,58	2,83 à 2,90	3,57 à 3,66	
Cherbourg.	8, 2	2,79 à 2,97	3,57	
Granville.	6,6 à 6,11	6,11	7,18	
Saint-Malo.	6, 5	5,67	6,64	
Pontrieux	5,54	4,98	5,73	
Brehat	5,52	4,97	5,73	
Morlaix.	5,15			
Le Conquet.	3,50	3,15	4,47	
Brest (port)	3,48	3,21	4,43	
Douarnenez	3,34	3,08	4,19	
Iles de Sein.	3,38	2,87	4,10	
Penmarck	3,16	2,40	3,79	
Benodet	3,31	2,33	2,38	
Entrée de la rivière de Quimper.	4, 2	2,41	2,62	
Concarneau	3,25	2,34	2,62	
Lorient (port).	3,40	2,34	2,61	
Le Palais (à Belle-Ile)	3,33	2,47	2,87	
Port Navalo, à l'entrée du Morbihan.	3,56	2,36	2,60	
Le Croisic	3,41	2,49	3,06	
Saint-Nazaire, à l'entrée de la Loire.	3,50	2,64	2,78	
Paimbœuf, *id.*	4. 8	2,90	1,83	
Noirmoutier	3,17	2,79	2,97 à 3,08	
Ile d'Yeu.	3,25	2,45	2,46	
Saint-Gilles.	3,47			
Les sables d'Olonnes	3,39	2,30	2,76	
La Rochelle.	3,39	3,43	3,44	
Ile d'Aix, à l'entrée de la Charente.	3,37	2,87	3,50	
Rochefort, port (intérieur de la Charente).	3,48	2,70	2,16	
Marennes.	3,37	2,56	2,77	
Tour de Cordouan, à l'embouchure de la Gironde	3,59	2,36	2,38	
Royan, dans l'intérieur des terres.	4. 2	3,29	2,29	
Bordeaux, *id.*	6,54	2,34 à 2,19	2,64 à 1,23	
Libourne, *id.*	7,29	2,26	2,24	
Arcachon.	4,48	1,83 à 1,99	1,95	
Soccoa, à l'entrée de la rade de Saint-de-Luz.	3,31	2,06	2,26	

Nota. On renvoie aux Mémoires de M. Daussy pour apprécier le degré de confiance qu'on doit accorder aux chiffres précédents, d'après le nombre d'observations faites.

Dans la Méditerranée, les dénivellations de la mer ne sont pas ordinairement de plus de $0^m,80$. Toutefois dans le golfe de Venise elles vont jusqu'à $1^m,50$ à $1^m,60$.

En comparant du reste les dénivellations de la marée sur les rives d'un détroit resserré et au milieu, on trouve généralement que les premières sont plus fortes que les secondes, ainsi qu'il devait résulter des principes posés par M. de Laplace.

Des courants dus aux marées et autres causes.

Les ondulations d'une faible hauteur qui ont lieu dans une masse fluide *libre d'obstacles*, ne paraissent pas déterminer de courants appréciables, c'est ce qu'on remarque au moins dans la Méditerranée et dans le golfe de Venise. Les courants existants ne sont point modifiés sensiblement par les ondulations, bien qu'ils puissent, dans l'opinion de Bremontier, diminuer et accélérer la vitesse des ondes. Mais quand les ondulations des marées éprouvent des dérangements, des exhaussements extraordinaires dus aux causes locales indiquées plus haut, l'équilibre des eaux étant détruit, il se développe des courants plus ou moins rapides, qui se font sentir à des distances d'autant plus grandes des rivages que la surface des eaux a été écartée davantage de l'état d'équilibre.

Comme dans la plupart des villes maritimes de l'Océan, les courants ascendants et descendants concordaient avec les heures des marées, et *reversaient* en même temps qu'elles; on leur a donné les noms de courants de *flot* et de *jusant*. Mais il résulte d'un grand nombre de faits coordonnés dans un mémoire très-intéressant de M. Mounier, ingénieur hydrographe (*Annales maritimes et coloniales* de 1835), que les courants horizontaux sont assujettis seulement à la même périodicité que les oscillations verticales des marées; mais qu'en règle générale leurs *reversements* sont séparés par un temps plus ou moins long des époques de pleine mer et basse mer; et que leur coïncidence avec ces dernières n'est qu'un cas particulier.

Des reversements des courants de flot et jusant.

La direction de ces courants peut varier d'ailleurs considérablement pendant la période diurne dans certaines localités. Ainsi, dans les parages entre la côte ouest du Cotentin et les îles de Jersey et de Guernesey, les courants font en douze heures le tour de la circonférence du compas, tantôt dans un sens, tantôt dans un autre. Dans quelques cas, leurs directions ne décrivent qu'une partie du circuit; dans d'autres, elles rétrogradent en repassant par les mêmes aires du vent par lesquelles elles avaient passé.

Voici au reste comment MM. Whevell et Mounier expliquent le courant général que les ondulations des marées déterminent dans les détroits,

comme le canal de la Manche et celui de Saint-Georges, entre l'Angleterre et l'Irlande (voir page 15 du Mémoire de M. Mounier).

« Ils supposent d'abord un canal *ouvert à ses deux extrémités*, de lar» geur et de profondeur constantes, où la marée ait par conséquent la même » vitesse de transmission, et produise la même hauteur sur les deux rives. » Le canal ayant une issue pour sortir, le niveau de la mer s'élève pour un » point quelconque par le mouvement des eaux qui viennent d'un côté, de » l'ouest par exemple, et s'abaisse par le mouvement en même sens, du » côté opposé à l'est. Ainsi la surface de la mer s'élève tant que les eaux » affluentes se meuvent plus rapidement à l'ouest qu'à l'est, et elle cesse » de monter quand la vitesse d'écoulement est égale à la vitesse d'affluence » des eaux, c'est-à-dire au moment où le sommet de l'ondulation passe par » le point donné, et où les deux courants parviennent à leur maximum de » vitesse; ainsi, l'heure de la haute mer doit, dans le canal supposé, con» corder avec le maximum de vitesse dans le courant de flot. Maintenant, » plus la marée s'éloigne, plus les eaux qu'elle a ébranlées tendent à reve» nir vers l'origine de leur mouvement. Le courant de l'ouest perd donc » sa vitesse plus vite que celui de l'est; la surface s'abaisse par cela même, » ce qui explique la continuation du courant de flot après l'heure de la » haute mer.

» Un raisonnement analogue pouvant s'appliquer au mouvement des » eaux lorsqu'elles se dirigent dans le sens opposé, c'est-à-dire au courant » du jusant, on concevra de la même manière que ce courant, toujours » dans le canal *hypothétique*, doit atteindre sa plus grande vitesse au » moment de la basse mer, et continuer dans le même sens en perdant » peu à peu de sa vitesse jusqu'à l'époque du reversement. »

Lorsque la marée pénètre dans une baie ou bassin *sans deuxième issue* vers la mer, les eaux affluentes doivent évidemment courir dans le même sens jusqu'à ce qu'elles cessent d'élever leur niveau sur les côtes du bassin; les heures de haute et basse mer coïncident alors avec celles du reversement des courants au lieu de les précéder de trois heures.

Dans un canal qui se rétrécit vers l'une de ses extrémités, les heures de haute et de basse mer doivent être séparées de celles du reversement des courants de flot et de jusant par un intervalle moindre que trois heures; cet intervalle doit être d'autant plus court que le canal se ferme davantage.

Ainsi l'ondulation de la marée qui arrive au Pas-de-Calais par le Nord

et la mer d'Allemagne, après avoir lougé l'Irlande et contourné l'Écosse, revient se rejoiudre près de Calais et de Dunkerque, avec l'ondulation entrée daus la Manche par le sud, eutre Brest et la partie méridionale de l'Angleterre. Cette ondulation marchant du nord au sud, de Flessingue vers Calais, présente ce phénomène remarquable qu'à quelques hectomètres de distauce des jetées de Flessingue, Ostende, Newport et Dunkerque, le reversement des courants ne se fait que de 30 à 45 minutes après l'étale. A Cherbourg, en dehors de la digue, où le couraut de flot porte à l'est, et le courant de jusant à l'ouest, les reversements de courants se font 1 heure 15 minutes après la mer haute et la basse mer. On peut voir dans le Mémoire de M. Mouuier des explications de tous les mouvements des couraots pendant une même période diurne dans les parages difficiles de la côte ouest du Coteutin.

Vitesses des courants de flot et de jusant.

Les vitesses des couraots périodiques de flot et de jusant sont d'autant plus grandes que la surface des eaux s'écarte davantage de l'état d'équilibre, ou que les déuivellations de la marée out été plus fortes. L'ou sait qu'un cheval au galop ne peut à la basse mer franchir la longueur de la plage de Saint-Michel sans être atteint par la marée ascendante. Sur les parages de la côte ouest du Cotentin, ces vitesses vont jusqu'à 6 nœuds et 8 nœuds par heure (le nœud vaut environ 1852 mètres) (1), ou 3 à 4 mètres par seconde. Dans des ports où l'unité de hauteur est de $2^m,34$ de hauteur, on a remarqué que le maximum de vitesse était de $1^m,50$ par seconde.

Les vitesses des courants, les relations entre les époques de reversement des marées périodiques, et les époques des hautes et basses mers, sont des circonstances essentielles à observer pour la navigation, les opérations et les travaux dans les ports et sur les côtes, et à joindre aux observations des vents régnants, des vagues, des marées dont on a parlé plus haut.

Effets des marées sur les fleuves débouchant dans la mer.

A l'embouchure des rivières et fleuves, ces effets se compliquent de l'épanchement *dynamique* des eaux de la mer vers les vides qui se reucontrent sur ses rives, et *vice versâ* (effet que les Italiens dénomment *invita* ou *appel d'eau*); de la transmissiou *latérale* des ondulations

(1) La ligne de loch, dont les navires de toutes les nations font usage pour mesurer la vitesse soit des navires, soit du cours des eaux, porte des nœuds de $15^m,43$ en $15_m,43$. Chacun de ces nœuds correspond aux 30 secondes qu'un sablier met à se vider, et par conséquent un nœud correspond à une vitesse de $0^m,514$ par seconde, ou à 1 mille marin, $1851^m,85$ par heure. La vitesse de 1 mètre par seconde correspond à $1^{mille},944$ par heure, ou à $1^{nœud},944$.

des marées; enfin du cours descendant des eaux douces du fleuve.

L'on supposera d'abord que le lit d'un fleuve est complétement à sec.

Le fond des rivières débouchant à la mer forme une espèce *de seuil* sur les rives de celle-ci; quand la marée monte et que son niveau a dépassé ce seuil, les eaux s'épanchent par-dessus par tous les points de la section de l'embouchure jusqu'à ce qu'elles soient en équilibre avec celles de la mer. Au fur et à mesure que ces dernières s'élèvent, l'épanchement continue, s'étend dans le lit de la rivière en amont, et il dure jusqu'à ce qu'il y ait équilibre entre le niveau intérieur et extérieur. Comme le volume d'eau déversé par chaque seconde dépend des disposition, grandeur et forme de l'embouchure, et de la pente superficielle des eaux qui s'établit vers le fleuve, on voit qu'il pourra souvent arriver que, même à marée baissante, la mer s'épanche encore dans le fleuve, et que *vice versâ*, les eaux déversent du fond du fleuve vers la mer, même après que la mer aura commencé à monter.

Ainsi, à l'embouchure de l'Adour qui, au lieu d'être évasée vers la mer, se présente au contraire comme un entonnoir, dont le col est tourné vers le large; l'eau des marées ne pouvant s'introduire par cet étroit goulot en assez grande quantité pour remplir le bassin du fleuve, conserve pendant toute la durée du flot un niveau beaucoup plus élevé au dehors qu'au dedans. La différence dans les sysigies a été trouvée de 4 pieds (1^m,304) par M. l'Ingénieur hydrographe Mounier. Le dénivellement qui se continue quelque temps après la pleine mer, prolonge de plus d'une heure, à l'intérieur de l'Adour, la durée du flot, et retient dans la rivière les navires qui veulent en sortir. Ils n'y peuvent parvenir que par le concours de trois circonstances : bon vent, mer calme et profondeur d'eau suffisante sur le banc. En Angleterre on a remarqué des effets analogues à l'embouchure du *Tay* en Écosse, dont l'orifice est aussi rétréci brusquement.

Mais les molécules d'eau qui tendent à déverser vers le fleuve étaient mues avant d'arriver à l'embouchure d'une certaine vitesse dans le sens du flot ou du jusant du *courant général de la marée*; leur direction, en s'épanchant dans le fleuve, ne sera donc pas la même que si la marée était sans mouvement de translation; mais bien une résultante des deux directions et des deux vitesses composantes Il doit donc se former, à la surface du courant principal de la marée, une *ligne de partage* aboutissant aux deux extrémités de l'embouchure du fleuve, et qui sera une espèce d'*axe d'équilibre* entre les forces qui appellent l'eau vers le fleuve et celles qui la

sollicitent dans le sens du courant de la marée. Cette ligne, remarquable et visible à l'œil par une nappe d'eau stagnante qui la borde, s'appelle *lime* ou *rondaine*.

Elle ne saurait évidemment être invariable de position et de figure entre ses points extrêmes; ainsi elle n'affectera pas la même forme aux diverses époques de la mer montante dans le courant principal, et *à fortiori*, lorsque cette mer baissant déjà au large, continuera encore de verser ses eaux dans le fleuve. La figure 514 des planches indique la position du cette ligne à l'embouchure de la Seine.

Figures 514 des planches.

Si de plus, dans le courant principal de la marée le reversement du flot et du jusant a lieu à des heures différentes de celles du reversement des marées, il y aura d'autres dispositions et configurations pour la ligne de séparation principale que celles qui auraient eu lieu s'il y avait eu coïncidence de ces reversements.

Entre les deux points extrêmes de la ligne en question, le courant secondaire d'appel qui vient remplir le fleuve suit une multitude de directions différentes. Comme dans la plupart des fleuves, l'embouchure est en entonnoir évasé vers la mer, le courant secondaire du flot entrera dans le lit du fleuve par une direction du rhumb ou rose de vent, *opposée* à celle du courant principal des marées du large.

Il résulte de ce qui précède que l'heure de la pleine mer et de la basse mer doit retarder aussi à mesure qu'on considère des points de plus en plus reculés dans l'amont de ce fleuve; et que le temps pendant lequel la marée ascendante se fait sentir est d'autant plus court qu'on est plus éloigné de l'embouchure, et par conséquent que celui de la marée descendante doit être d'autant plus long.

Actuellement l'on va faire entrer dans la question les eaux douces descendantes du fleuve, et supposer qu'on parte du moment de la basse mer.

Dès que la marée montante aura franchi le seuil du lit du fleuve, elle formera comme un barrage, qui fera remonter le niveau des eaux douces. Les eaux de la mer ne déverseront pas dans le fleuve tant que leur niveau ne dépassera pas celui des eaux douces ainsi gonflées; mais bientôt la mer s'élevant plus rapidement que les eaux douces, s'épanchera au-dessus d'elles. Les vitesses en sens opposé des eaux douces et salées, les directions ascendantes des unes de bas en haut, les directions descendantes des autres de haut en bas, le jeu des pesanteurs spécifiques, produiront des zônes d'eau stagnante, des tournoiements, des remous, des contre-courants lit-

toraux et *sous-marins*, qui seront d'autant plus prolongés que le volume et la vitesse des eaux douces seront plus considérables, et qui dureront jusqu'à ce que la marée plus puissante imprime un mouvement général de l'embouchure vers l'amont. Mais les croisements de vitesse se reproduiront successivement avec une intensité décroissante dans tous les points du fleuve où la marée se fait sentir. Les figures 515 des planches représentent les courants qui ont été observés au Havre par feu M. Lamblardie père, pendant la marée montante, et qui confirment les principes ci-dessous posés par lui dans le Mémoire manuscrit daté de 1791, et intitulé *Nouvelles considérations sur le port du Havre*. Figures 515 des planches.

« La masse des eaux qui entrent à marée montante dans l'embouchure » de la Seine, se sépare de celle qui va remplir les autres ports de la » Manche dans une ligne de partage, tirée du cap de Barfleur, en allant à » peu près vers celui d'Antifer, et de là se jette avec force sur la partie de » la côte comprise entre Antifer et le cap de la Hève.

» C'est à partir de ce cap que s'établit un courant rapide qui se porte » dans la Seine, en passant entre la terre et le banc d'Anfar, après avoir » doublé la jetée du N.-O. du port du Havre.

» 2° Depuis Antifer jusqu'à la Hève, la côte court du N.-N.-E. au S.-S.-O., » tandis que l'entrée de la Seine est à très-peu près ouest et est. Ces deux » directions font donc un angle aigu d'environ 67° 30'. Le courant qui a » parcouru la première, ne peut suivre brusquement, et pour ainsi dire » en rebroussant, la seconde; soumis aux lois physiques de la nature, il » est obligé de raccorder, si l'on peut le dire ainsi, ces deux directions par » un mouvement curviligne, qu'il ne peut prendre qu'en suivant un cir- » cuit proportionné à la masse, et à la vitesse des eaux qui entrent dans la » baie pour la remplir.

» Le bord concave du courant, qu'on nomme vulgairement *lime*, est » aussi la limite des dépôts ou pouliers qui se forment de ce côté.

» 3° En effet, lorsqu'un obstacle quelconque change la direction d'un » courant parallèle à la plage, il se forme nécessairement dans l'espace » curviligne qu'il laisse vers sa concavité, entre lui et le bord de la » plage, un contre-courant nommé *verhaule*, lequel rapporte et dépose des » alluvions qui exhaussent le fond jusqu'à ce que les dépôts soient en » équilibre avec la force de ce contre-courant.

» 4° Si, par la nature de ces dépôts et de ceux que d'autres causes phy- » siques pourraient accumuler dans l'emplacement où s'établit la ver-

» haule, tout l'espace curviligne pouvait se combler et s'élever jusqu'au » niveau des hautes mers, de *manière que le bord ou la limite de la plage* » *vînt répondre à la limite du courant*, alors il n'y aurait plus de » verhaule.

» 5° Si la limite de la plage répondait, ainsi qu'on vient de le rapporter, » à la limite du courant; et qu'il restât néanmoins dans l'espace curvi- » ligne désigné ci-dessus, un vide à remplir par la marée montante, il n'y » aurait plus à la vérité de courant de verhaule proprement dit; mais il se » détacherait du courant principal un courant secondaire, qui remplirait ce » vide, qui aurait la même direction, et produirait les mêmes effets que » le contre-courant de la verhaule.

» 6° La différence de ce courant secondaire à celui de la verhaule, con- » siste en ce que les eaux de celle-ci viennent continuellement se verser » dans le courant principal, tandis que celles du premier s'en éloignent.

» 7° Par conséquent les alluvions qu'entraînent les eaux de la ver- » haule tombent dans le lit du courant principal qui les emporte; et » celles que le courant secondaire met en mouvement entrent au con » traire dans le vide qu'il remplit.

» 8° Le courant secondaire et celui de la verhaule peuvent avoir lieu » dans le même endroit; ils se confondent jusqu'à l'entrée du vide à rem- » plir. Là ils se séparent, et alors on les distingue aisément par la direction » de leur mouvement réciproque que l'on vient d'indiquer.

» 9° La force du courant de la verhaule étant toujours moindre que » celle du courant principal, les alluvions apportées par le premier dans le » lit du second, seront toujours entraînées par celui-ci.

» 10° Ainsi, tant que le courant principal aura la même intensité, il en- » tretiendra toujours son lit à la même profondeur, et si cette intensité » augmente, le lit sera approfondi.

» 11° Le courant principal, qui va dans une direction, et celui de la » verhaule, qui en suit parallèlement une autre directement opposée, ne » se touchent point immédiatement : ils sont séparés par ce qu'on » appelle une *molle-eau*, qui n'a pour ainsi dire point de mouvement. » Cette stagnation favorise les dépôts dans cet endroit; aussi le fond est-il » plus exhaussé dans la partie correspondante à la bande d'eau stagnante » qui forme la limite du courant principal et de la verhaule, qu'il ne l'est » du côté de la terre, dans la partie où s'établit ce contre-courant.

» 12° Tout cap ou pointe saillante qui dérange la direction du courant

» de la marée montante, produit les effets indiqués ci-dessus (2 et 3).
» Mais, lorsqu'après le changement de la direction, la plage n'aura pas
» encore acquis la courbure que prend ce courant, tout ouvrage, comme
» un épi ou une jetée, construit sur le bord de la plage, en allant vers le
» large, ne changera rien dans la direction du courant principal, tant
» que la tête de l'ouvrage ne dépassera pas la limite concave de ce
» courant.

» 13° Et réciproquement, lorsqu'une pointe ou un ouvrage saillant,
» établi sur le bord d'une plage, dérangera la direction naturelle du cou-
» rant, il en résultera que la tête de l'ouvrage ou l'extrémité de la pointe
» sera au delà de la limite intérieure du courant, et par conséquent au delà
» du prolongement possible des plages formées par les alluvions qu'appor-
» tent les courants. »

Les retards dans les heures de pleine et basse mer, la moindre durée de la marée montante et la plus grande durée de la marée descendante, seront plus sensibles dans le dernier cas que l'on a considéré ci-dessus, *celui d'eaux douces descendantes*, que dans le précédent. Les ascensions de la mer, en chaque point, seront aussi beaucoup plus considérables que dans le canal vide d'eaux douces qu'on avait envisagé d'abord.

Il reste à tenir compte de la transmission latérale ou *dérivée* dans le fleuve, des *ondulations de la marée du large*. On sait déjà que les ondulations dont la vitesse peut être en général modifiée par celle des courants, ne modifient pas ces derniers lorsqu'ils *sont préexistants*. Ainsi qu'on l'a déjà dit, Bremontier, au paragraphe 21 de son ouvrage, a considéré des lames qui oscillent dans le sens de l'axe d'un pertuis placé latéralement à un bassin. Il annonce que si, en arrière du pertuis, il y a un canal de même largeur que lui, les oudulations du bassin se transmettront dans le même sens, et suivant des courbes concentriques en plan aux courbes qu'elles ont dans le bassin; mais que si, en arrière du *pertuis*, on supposait un bassin plus large que lui, d'une forme irrégulière, le pertuis deviendrait le centre de nouvelles ondulations concentriques entre elles, bien moins fortes que les ondulations extérieures, et qui diminueraient d'autant plus rapidement que le pertuis serait plus étroit.

Mais ces données s'appliquent-elles complétement aux circonstances ordinaires à l'embouchure des rivières où le pertuis est très-large relativement au bassin en arrière, et où les *oscillations des marées ne sont pas dans le sens de l'axe?*

On peut seulement conjecturer que dans les zônes d'un fleuve très-voisines de son embouchure, l'effet latéral de l'ondulation des marées peut concourir avec celui des versements et reversements dynamiques du courant principal de la marée au large, pour modifier le courant secondaire d'appel vers le fleuve, et *vice versâ*.

Observations faites dans la Seine, la Loire et la Gironde.

Voici au reste ce que les observations paraissent avoir appris sur les effets de la marée en amont de l'embouchure des trois principaux fleuves de la France qui tombent dans l'Océan : la Seine, la Loire et la Gironde.

La marée, c'est-à dire la différence entre la basse et haute mer, a été trouvée dans les sysigies de 1826 :

Au Havre.	7m,15
A Honfleur.	7 ,06
A Quillebœuf.	3 ,83
A Caudebec.	1 ,61
A La Bouille	0 ,96
A Rouen	0 ,99

Des observations ont été faites par MM. les Ingénieurs Pattu et Pouettre, à l'occasion des débats soulevés pour le projet du canal maritime de Paris au Havre, et ont été représentées graphiquement par des courbes. Elles semblent établir que dans la même marée les côtes du plein de la mer forment une courbe ascendante en amont de l'embouchure de la Seine.

Pour la Loire, entre l'embouchure à Saint-Nazaire et Nantes, M. Daussy, Ingénieur hydrographe, dans un Mémoire inséré aux *Annales maritimes* de 1832, présente comme suit l'heure d'établissement, l'unité de hauteur, et le niveau moyen (c'est-à-dire la hauteur du plan moyen observé à l'*embouchure de la rivière*, au-dessus du niveau des plus basses mers observées en chaque point de la longueur précitée du fleuve).

	HEURE d'établissement.	UNITÉ de hauteur en contre-haut du plan moyen.	NIVEAU MOYEN.
	h. m.	m.	m.
Saint-Nazaire	3,50	2,64	2,78
Paimbœuf.	4, 8	2,90	1,83
Le Mignon	4,36	2,58 à 2,70	1,47 à 1,37
Le Pelerin	5,21	2,57	0,78
Basse-Indre	5,44	2,21	0,42
Nantes.	6,14	2,34 à 1,96	(de —0,08 à + 0,05)

M. Daussy présente aussi, dans le Mémoire précité, les différences entre les pleines mers et les basses mers observées *le même jour* à l'embouchure à Saint-Nazaire et aux différentes stations. Il fait ressortir que ces différences sont plus fortes dans les grandes marées que dans les petites, et vont en augmentant dans la même marée depuis l'embouchure jusqu'à Nantes.

On voit, d'après le tableau de M. Daussy, que le niveau de la pleine mer varie dans la longueur du fleuve en raison de la grandeur de la marée; il n'en est plus de même pour celui de la basse mer. Ainsi, à la Basse-Indre et à Nantes, le niveau de la basse mer est presque invariable, alors qu'il varie notablement à Saint-Nazaire.

Dans les lieux où l'élévation de la mer dépend uniquement de la marée, M. Daussy fait observer que la hauteur du niveau moyen au-dessus du zéro des cartes marines (niveau des plus basses mers observées), est toujours plus grande que l'unité de hauteur ou la demi-marée moyenne. Dans la Loire, au contraire, le niveau moyen se rapproche du zéro à mesure qu'on avance dans la rivière, et à Nantes il se trouve à peu près à ce zéro. La mer montante ne doit donc être sensible à Nantes que quand elle est parvenue au milieu de son ascension totale; la première moitié de la montée est ainsi employée à atteindre le niveau des eaux douces à Nantes.

Dans la Gironde les marées sont plus fortes dans l'intérieur et jusqu'à Bordeaux, qu'à Royan près l'embouchure, et qu'à la Tour-de-Cordouan, qui est à l'embouchure même. Voici, d'après un Mémoire de M. l'Ingénieur hydrographe Daussy, inséré dans la *Connaissance des temps* de 1837, les heures d'établissement, les unités de hauteur et le niveau moyen des marées, toujours par rapport au zéro des cartes marines ou les plus basses mers observées en chaque point; mais ici M. Daussy a déduit le niveau moyen, d'une part, des pleines mers, d'autre part des basses mers, par une méthode indiquée dans son Mémoire.

	HEURES d'établissement.	UNITÉ de hauteur.	PLAN MOYEN d'après les pleines mers.	PLAN MOYEN déduit des basses mers
	h. m.	m.	m.	m.
Cordouan, à l'embouchure de la Gironde.	3.59	2,36	2,38	2,38
Royan.	4. 2	2,29	2,29	2,29
Saint-Surin	»	2,22	2,61	3,25
Patiras	»	2,41	2,70	1,98
Bec-d'Ambès (jonction de la Gironde et de la Dordogne)	»	2,43	2,61	1,58
Bordeaux	6.54	2,34 à 2,29	2,64 à 2,91	1,23 à 1,04
Bourg.	»	2,53	2,48	1,50
Arques	»	2,60	2,64	
Libourne	7.29	2,26	2,24	

M. Daussy a conclu de ses attachements et calculs de marées, que dans la Gironde comme dans la Loire; le niveau des plus basses mers était sensiblement constant pour certaines marées; et que le nombre des marées auquel ce fait s'appliquait était d'autant plus fréquent que l'on s'éloignait davantage de l'embouchure; en sorte que pour déduire des observations de marées faites à l'embouchure, les cotes pour les divers points du cours du fleuve en amont, il fallait prendre un niveau moyen plus élevé pour les pleines mers que pour les basses mers.

En vérifiant ses observations par des nivellements trigonométriques et autres, M. Daussy a trouvé que le niveau moyen déduit des pleines mers à Bordeaux, était de 1m,46 plus élevé que le niveau moyen à Cordouan; et que, par conséquent, dans la même marée de sysigies, les hautes mers étaient, indépendamment de la plus grande unité de hauteur à Bordeaux qu'à Cordouan, plus élevées d'au moins 1m,46 dans le premier de ces points que dans le deuxième en aval.

M. Daussy explique ce fait du surhaussement de la marée, parce que le flot de la mer en avançant dans le fleuve arrête l'écoulemnt des eaux douces et élève leur niveau, au-dessus duquel les eaux de mer viennent ensuite se superposer. Ainsi, ajoute M. Daussy, la marée peut être sensible dans des points plus élevés que le niveau des pleines mers de l'Océan.

Du mascaret Les rivières de Seine et de Dordogne présentent à une certaine distance de leur embouchure le phénomène d'une ondulation particulière, nommé *mascaret*, *flot*, *barre*, qui annonce l'arrivée de la mer ascendante par deux, trois, quatre flots élevés, courts et rapides, qui barrent toute la largeur du fleuve, remontent son cours, et renversent tout ce qu'ils ren-

contrent, surtout sur les rives et sur les bancs de sable. On peut lire dans l'ouvrage de Bremontier, et mieux encore dans l'article inséré par M. l'Ingénieur Virla dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1835, des explications plausibles de ces phénomènes. Figures 516 des planches.

RÉSUMÉ DE LA TRENTE-DEUXIÈME LEÇON.

DES COURANTS AUTRES QUE CEUX DES MARÉES. — DESTRUCTION DES CÔTES. — ALLUVIONS. — ÉTABLISSEMENT DES RADES ET DES PORTS. — DESCRIPTION DES PORTS MILITAIRES FRANÇAIS.

Courants autres que ceux des marées

Outre les principaux courants directs de flot et de jusant dus aux ondulations de la marée gênée dans son développement; outre les courants secondaires, remous, contre-courants littoraux, courants sous-marins, qui dérivent des premiers, et qui dans chaque localité sont connus des pilotes et hommes de mer, il existe des courants généraux permanents, tels que celui qui règne entre les tropiques de l'orient à l'occident, dont la cause n'est pas encore éclaircie, et qui souvent présentent une température différente de celles de la mer.

Ainsi, en Europe il existe un courant qui part du cap Finistère au sud du golfe de Gascogne, baigne les côtes de l'Espagne et du Portugal, et se dirige vers le détroit de Gibraltar pour entrer dans la Méditerranée.

On a remarqué aussi sur la côte de la Biscaye et dans le fond du golfe de Gascogne, un courant littoral marchant de l'ouest à l'est sur la première de ces côtes, et du sud au nord depuis Saint-Jean-de-Luz jusqu'à Bordeaux.

Il est possible que les caps, les baies et les golfes produisent, mais sur une grande échelle, relativement aux grands courants généraux de la masse des eaux des diverses mers, des effets analogues à ceux qu'on observe dans les sinuosités des faibles cours d'eaux de l'intérieur des terres.

Dans la Méditerranée il existe un courant littoral qui est probablement un dérivé des précédents. Il marche toujours de la gauche à la droite en regardant la mer, et par conséquent, sur les côtes de la Provence et

du Languedoc. Il chemine du sud-est vers le nord-ouest. Sa vitesse est très-lente, environ 3 à 4 milles d'Italie, ou 5000 à 6600 mètres par 24 heures (6 à 7 centimètres par seconde). Sa largeur, transversalement aux côtes, est d'environ 3 milles d'Italie, ou d'une lieue de 5000 mètres.

L'on a attribué à ce courant, combiné à celui du Rhône, une action *exclusive* très-grande sur le port de Cette, qui est placé à l'occident. Mais le Rhône, divisé en plusieurs bras à son embouchure, et animé alors d'une faible vitesse, ne peut produire de grandes modifications ni dans la mer supposée stagnante, ni dans le courant littoral; les vents régnants doivent en avoir une plus marquée sur ce dernier courant, et surtout sur le développement des vagues. On estime que seuls, ils peuvent faire gonfler ou baisser le niveau moyen des eaux de la Méditerranée de 60 à 70 centimèt., suivant qu'ils soufflent du large ou de la côte.

D'après les observations des hydrauliciens italiens, celles de Mercadier (voir les chapitres 6 et 7 du Mémoire sur les ensablements), enfin d'après celles de M. de Prony et feu M. Sganzin, quand le *vent souffle dans le sens* où ce courant chemine, le courant littoral détermine dans les renfoncements des côtes des bancs de sables toujours croissants de l'amont vers l'aval de son cours, et sur celle des rives qu'il rencontre la première. Mais si une rivière débouche dans la Méditerranée, son cours et celui du courant littoral, se combinent en raison des volumes d'eau et des vitesses respectifs; le banc de sable, mentionné dans le cas précédent, est insignifiant; mais il s'en forme un de plus en plus étendu sur la rive de l'embouchure qui est à l'aval de la jonction de la rivière et du courant littoral. Mercadier en infère que moins la force du courant de la rivière est considérable, et plus la position et la grandeur des atterrissements doivent se rapprocher de ce qui a lieu pour la communication entre la mer et les criques et renfoncements littoraux. Mercadier fait observer à ce sujet que le voisinage de l'embouchure des rivières ou de canaux artificiels, n'est pas toujours nuisible aux ports des côtes de la Méditerranée, *quand cette embouchure est en aval relativement au courant littoral*, et pourrait être souvent utile quand elle est en amont.

Figures 517 des planches.

Figures 518 des planches.

Après avoir indiqué les divers phénomènes que présente la mer au large et dans les embouchures des fleuves, il faut arriver à leur influence sur les côtes et sur les ouvrages que les hommes y ont élevés.

Destruction des côtes, alluvions, atterrissements.

La cause principale de la destruction des côtes et des ouvrages à la mer, est dans l'action des vagues soulevées et poussées par les vents ré-

gnants. On a déjà cité plus haut leurs effets désastreux sur les côtes de la Haute-Normandie, et dans la baie de Saint-Jean-de-Luz.

Les diverses actions que les vagues exercent dans les gros temps, sont :

1° L'action oscillante des molécules d'eau *dans les raccordements* des *colonnes d'eau syphonantes*; elle est en raison directe des dimensions des vagues, et en raison inverse de la profondeur d'eau à laquelle sont situés les corps soumis à cette action.

On sait que les vagues soulèvent les graviers à une profondeur plus grande que les galets, et qu'elles agissent sur les sables à des profondeurs beaucoup plus considérables encore (Bremontier, pages 31 et 32).

Jusqu'à présent on avait pensé que l'action des vagues sur les petites pierres de $\frac{1}{4}$ de pied cube ($0^{mc},007$), qui forment le noyau de la digue de Cherbourg, cessait à environ 5 mètres de profondeur en contre-bas du niveau de la mer supposée calme; l'expérience a prouvé que cette action descendait plus bas, et l'on n'a pu encore en déterminer la limite réelle. D'autre part, dans des *zônes d'épreuve* de cette même digue, on a constaté que des matériaux de même nature, mais d'un volume beaucoup plus considérable (20 à 25 mètres cubes) ne sont pas déplacés, même lorsqu'ils sont situés dans la zône de maximum d'action;

2° L'action produite par la force du vent sur la partie supérieure des vagues. Elle incline toutes les courbures des ondulations, de manière que l'oscillation des molécules d'eau cesse d'être verticale, et peut choquer les surfaces contre lesquelles elle n'eût exercé sans cela qu'un simple frottement.

On a remarqué dans le golfe de Gascogne que les vagues étaient bien plus élevées et plus dangereuses quand le vent soufflait de terre que quand il était dans le même sens que l'ondulation.

3° La réaction déterminée par la *configuration même* des corps frappés par les vagues, sur les directions et efforts de celles-ci. Ainsi des surfaces accores s'élevant plus ou moins au-dessus du niveau de la mer; des plages très-douces; des surfaces présentant des combinaisons de zônes accores et de zônes allongées; le plus ou moins d'aspérités et de dentelures des surfaces, développent dans les vagues des modes d'actions nouveaux.

Ainsi des corps et des roches en relief isolées, frappés par les lames, déterminent des tournoiements d'eau tels, que si le fond à l'entour de ces

corps ou roches est vaseux ou sablonneux, il est en peu de temps profondément affouillé.

4° L'action des courants permanents et périodiques dont la masse des eaux peut être animée.

5° L'action hydrostatique ordinaire des masses d'eaux soulevées dans les vagues, et de celles qui sont projetées en arrière des ouvrages.

6° L'action dynamique de ces mêmes masses d'eaux, lorsqu'ayant pénétré dans les interstices même des ouvrages, pendant l'oscillation ascendante des vagues, elles en ressortent pendant l'oscillation descendante.

C'est à ces diverses causes, mais particulièrement aux trois premières, que sont dus l'enlèvement et la suspension dans l'eau des matières lourdes provenant de la destruction des côtes ou de l'approfondissement du lit de la mer. Toutefois l'action des courants n° 4 pourrait seule déterminer quelques-uns des mêmes effets, mais sur une bien moindre échelle, et seulement pour les matières d'un faible volume. On pourra en juger par le tableau présenté dans la vingt-quatrième leçon sur la navigation intérieure, en mettant en regard les vitesses des courants de la mer qui ne dépassent pas ordinairement 2 à 3 mètres par seconde.

Les actions 1, 2, 3 et 4 ci-dessus, peuvent être dirigées du reste obliquement sur les surfaces des côtes et ouvrages, et alors leur décomposition tendra à déplacer et à rouler longitudinalement tous les corps sur lesquels elles auront de la prise. On a remarqué ces effets dans une foule d'ouvrages et l'on y reviendra tout à l'heure.

Feu M. l'Ingénieur Fouques-Duparc avait déduit de diverses expériences faites sur la digue de Cherbourg, que, dans cette localité, relativement à une surface verticale, la composante horizontale de toutes les actions des vagues correspondait à 3 à 4000 kilogrammes par mètre quarré de surface.

Toutefois, le mur d'enceinte du Havre, dont les dimensions n'avaient été calculées que pour l'effort hydrostatique n. 5 ci-dessus, a parfaitement résisté pendant plus de quarante ans, à toutes les autres actions des vagues dans cette localité.

Les effets des vagues sur les côtes susceptibles d'érosions ont été observés avec beaucoup de soin sur les côtes de la Haute-Normandie, par M. Lamblardie père (voir son *Mémoire sur les côtes de la Haute-Normandie*); et ces observations ont été vérifiées dans une foule d'autres localités, dans la Manche, à Cherbourg, sur les côtes de la Bretagne, sur celles de l'île de Ré, etc.

Il en résulte que les côtes de la mer, qu'elles soient formées de roches tendres ou de galets agglomérés, ou de terre forte, présentent toujours dans la *partie supérieure au niveau des hautes mers ordinaires calmes*, une courbe cycloïdale dont la hauteur dépend de celle des vagues, et qui peut aller jusqu'à 4 mètres dans les parties très-agitées. A cette courbe succède en descendant un talus qui lui est tangentiel, et qui se rejoint avec le fond au niveau des plus basses mers, suivant une pente plus ou moins allongée. Cette pente dépend de la nature des couches superficielles et des variations qu'éprouve la force des vagues dans les ascensions et abaissements de la marée. Beaucoup de ces talus ont une pente de 7 pour 1; et elle s'adoucit quelquefois en contre-bas du niveau des basses mers, jusqu'à celle de 30 pour 1. Quelquefois aussi, particulièrement lorsque le fond est de la vase, le talus devient presque abrupte au-dessous de ce niveau, parce que l'eau soutient la vase. A Cherbourg, on a trouvé environ 45° pour le talus naturel des matériaux d'enrochements immergés. Figures 519 des planches.

Les mêmes formes se manifestent dans les amas de galets, et sur les enrochements que la mer a elle-même entassés dans certaines zônes des côtes.

Au lac de Genève, auprès de Vevay, le talus du rivage se compose de sable fin; et il est de 10 de base pour 1 de hauteur jusqu'à 2 mètres à 2^m,30 au-dessous des plus basses eaux; plus bas il n'est que de 2 de largeur pour 1 de hauteur, c'est-à-dire le talus que prend naturellement le sable dans une eau tranquille.

En plan, les masses de galets ou d'alluvions qui bordent le pied des falaises, suivent leurs contours et leurs directions. Mais lorsque le galet amoncelé dans une baie n'a d'autre appui que lui-même ou des alluvions peu résistantes; feu M. Lamblardie père fait remarquer que les vagues rangent alors les galets sur une ligne curviligne, dont la concavité est tournée vers la mer du côté du vent régnant, et diffère peu d'un arc de chaînette. La configuration de la côte entre le cap d'Antifer et le cap *Grisnez* au nord, présente à l'effort des vagues un arc concave, dont la courbure au milieu (vis-à-vis le Tréport), est perpendiculaire à la direction des vents régnants du nord-ouest. M. Lamblardie père attribue cette courbure également à l'action des vagues poussées par ces mêmes vents. Il a trouvé dans certaines localités que, pour une ouverture de 600 mètres, il y avait une flèche de 56 mètres ou de $\frac{1}{11}$ environ. Figures 520 des planches.

Locomotion des corps immergés, des détritus détachés.

La locomotion des corps immergés, des détritus détachés et en suspension peut être due uniquement aux vagues, ou aux courants périodiques et permanents, ou provenir de ces deux causes combinées ou successives dans un ordre quelconque. Feu M. Lamblardie père fait remarquer dans son *Mémoire sur les côtes de la Haute-Normandie*, page 36, que, quand la direction des vents régnauts et des vagues est perpendiculaire à une côte, l'action de corrosion est au maximum, mais qu'il n'y a pas translation le long du rivage; et qu'au contraire, la première action sera nulle quand le vent sera parallèle au rivage. Il en conclut par la décomposition de l'effort des vagues frottant contre les parois ascendantes des côtes, que le maximum de vitesse du cheminement du galet correspond à un angle de 45° du vent avec la côte. Par conséquent lorsque la côte présente un angle *rentrant* divisé à peu près en parties égales par l'axe des vents régnants, les alluvions poussées dans deux sens différents, viennent aboutir au fond de l'angle. L'Ingénieur italien Zendrini avait déjà fait la même observation dans la Méditerranée.

Figures 521 des planches.

Si, au contraire, cet angle ainsi divisé est saillant dans la mer, les alluvions cheminent en s'éloignant à gauche et à droite du sommet de l'angle.

Figures 622 des planches.

Sur une côte homogène ayant la même inclinaison en *plan* avec les vents régnants, la quantité des matières transportées est donc en chaque point proportionnelle à la distance de ce point à l'extrémité de la côte où le vent règne.

Les observations précédentes ont été complétement confirmées dans les effets des tempêtes sur les enrochements de la digue à Cherbourg, ainsi qu'on pourra s'en assurer en lisant dans les appendices du deuxième volume le précis historique relatif à ce grand ouvrage.

Quand les courants périodiques ou permanents sont dans le même sens que les vents régnants, la marche des alluvions est plus rapide; elle peut continuer même quand le calme se rétablit pour les matières les plus fines et les moins denses. Lorsqu'il y a opposition entre les deux efforts ci-dessus, il y a ralentissement et même arrêt temporaire ou permanent dans la locomotion.

Si dans la marche des alluvions, le long d'un rivage, sous la double impulsion des vagues et du courant, ces alluvions rencontrent une baie profonde qui soit à l'abri des vents régnants; le calme qui s'établira déterminera les parties les plus lourdes d'entr'elles à se déposer; si, indépendamment de cette circonstance, il y a des contre-courants de *verhaule* et

autres dans cette baie, il y aura des zônes stagnantes, où le reste des matières tenues en suspension se déposera, soit temporairement, soit d'une manière permanente.

Qu'au lieu d'une baie, ces alluvions rencontrent une saillie dans la côte, l'expérience d'accord avec le raisonnement prouve que, du côté d'où viennent les alluvions il se formera un dépôt qui remplira en arc concave l'angle rentrant de la saillie avec la côte. Si l'action qui pousse les alluvions est permanente, elle finira par leur faire dépasser la pointe de la saillie, et quand les alluvions l'auront tournée, elles se trouveront à l'abri du vent, et se déposeront en formant ce qu'on appelle un *poulier :* et comme dans les angles formés à droite et à gauche par des saillies sur la côte, il y a des contre-courants et des eaux stagnantes, cette circonstance augmentera encore les dépôts. Figures 523 des planches

Le Mémoire cité ci-dessus de M. Lamblardie père, apprend au reste à quel degré de ténuité, l'action des vagues et le frottement des galets les uns contre les autres ou contre le rivage sur lequel ils cheminent, réduisent leur grosseur primitive. A Cette, des blocs de marbre dur que plusieurs bœufs ont peine à traîner de la carrière à la jetée, sont bientôt transformés par le roulis des flots, en galets de la grosseur du poing.

Les effets simples et permanents de la configuration des côtes sur la marche et le dépôt des alluvions, deviennent très compliqués à l'embouchure des rivières dont les rives forment des angles divers avec les côtes voisines et avec les *directions des vents régnants.* Ici les alternatives de calme et d'agitation, les changements de vents, les reversements périodiques de flot et de jusant, les étales de pleine et basse mer, les tournoiements, les contre-courants superficiels et sous-marins, les alluvions apportées par les crues des eaux douces agissent alternativement ou simultanément, et avec des influences variables, et déterminent : tantôt ces barres variables d'emplacements et de formes qu'on remarque à l'entrée de la plupart des fleuves ou rades à orifice resserré; tantôt ces encombrements extraordinaires de galets qui, dans une tempête de quelques jours, obstruent l'entrée des ports de Dieppe, de Fécamp et du Havre; ou ces bancs mobiles de sable et de vase qui exposent la navigation à des obstacles imprévus; enfin ces hauts fonds permanents qui déplacent le cours des eaux.

Pour donner une idée de l'importance des changements qui ont lieu, il suffira de citer le fait récent d'un banc de sable, de plus de 300,000 mè-

tres cubes, qui était situé sur la côte nord-est de l'embouchure de l'Adour, et qui de 1822 à 1837, a été entièrement enlevé par la mer et reporté sur la côte vis-à-vis de laquelle il se trouvait.

C'est encore dans les Mémoires imprimés déjà cités de MM. Lamblardie père et fils, dans celui de M. Lamblardie fils sur les ports de Saint-Gilles et des Sables-d'Olonne, dans des Mémoires de M. l'Ingénieur hydrographe Monnier sur le bassin d'Arcachon, sur la barre de Bayonne et la baie de Saint-Jean-de-Luz, insérés aux *Annales maritimes* de 1837, qu'on trouvera l'analyse des principales causes locales de la situation actuelle de plusieurs ports et rades de refuge de l'Océan.

Les dépôts de sables et de vases qu'on remarque dans les ports de Brest, Lorient, Rochefort et à l'embouchure de l'Adour, s'expliqueraient de la même manière par la destruction des côtes et les corrosions du fond de la mer, opérées par les vagues sous l'influence des vents régnants. Ainsi, le calme et le ralentissement des courants de flot, lorsqu'ils ont franchi l'entrée des rades, déterminent un premier dépôt de sable et de gravier, qui est suivi de dépôts de sable vasard, puis de vase molle, à mesure que l'eau s'éloigne de cette entrée, et que le calme et le ralentissement des courants augmentent.

Si ces rades et ports, malgré l'importation des alluvions et l'insuffisance du curage, ont conservé, sinon leur débouché primitif à basse mer, au moins leur profondeur, cela tient uniquement à l'effet des courants de jusant qui détachent et entraînent chaque jour toutes les alluvions fraîches et molles qui avaient été déposées par le flot dans le courant principal des eaux, et les rejettent dans l'intérieur de la rade ou les livrent à des contre-courants qui vont les déposer sur les rives du chenal à basse mer.

Lorsque, comme dans l'Adour, et par suite de rétrécissements naturels ou artificiels de l'embouchure, les eaux en amont de cette embouchure, vers l'intérieur, ne sont pas à peu près en équilibre aux diverses époques de la marée; et que par l'épanchement dynamique des eaux, celles-ci remontent encore la rivière, lorsqu'au large de l'embouchure elles descendent déjà; et *vice versá*, lorsqu'elles continuent encore de baisser dans la rivière, lorsque déjà elles montent au large; il existe à l'entrée une opposition entre les courants qui doit déterminer des zônes stagnantes et des dépôts, dont les pentes et la configuration dépendent d'ailleurs de la direction des vagues poussées par les vents régnants.

A l'embouchure de la rivière de Tay en Écosse déjà citée, le rétrécissement brusque de l'orifice fait que, lorsque la mer monte, elle s'en-

gouffre dans le fleuve avec violence. A mesure qu'elle s'élève et que ses eaux s'étendent sur plus d'espace, elle perd de sa vitesse et abandonne le sable vasard qu'elle tenait en suspension, et forme d'immenses bancs même au milieu du thalweg du fleuve.

On voit par ce qui précède, et par ce qui a été dit dans la vingt-cinquième leçon sur les digues submersibles, combien il faut mettre de circonspection dans les projets d'ouvrages qui auraient pour objet l'approfondissement ou le calme des eaux, ou la fixité des chenaux à l'embouchure des rivières dans la mer. Ce n'est que par voie d'expérimentation lente, d'essais progressifs, de tâtonnements multipliés, qu'on peut dans chaque localité parvenir à découvrir les meilleures dispositions à prendre.

Ainsi le rétrécissement des orifices d'embouchure, s'il est favorable pour diriger les eaux dans un chenal invariable, et pour approfondir par l'accroissement des vitesses les passes suivies par la navigation, peut avoir aussi pour conséquence une moindre introduction d'eau salée à l'amont de l'embouchure, un écoulement plus lent des crues des rivières, et des modifications graves dans le régime des heures d'établissement des hautes marées, et dans celui des reversements des courants de flot et de jusant. Ces modifications à leur tour peuvent accroître les atterrissements ou les déplacer d'une manière nuisible à la navigation.

Les complications des diverses causes agissantes se refusent en effet à ce qu'on puisse prévoir les conséquences probables des variations qu'elles éprouveraient, et à ce qu'on puisse adapter à une localité certains procédés d'art, par cela seul qu'ils auraient réussi sur d'autres points. Aussi, des draguages pour approfondir les passes, des pontons pour faire émerger les navires, des alléges pour diminuer leur chargement dans le passage sur les bancs, enfin des bateaux remorqueurs pour surmonter les courants ou les vents opposés, et pouvoir franchir les bancs au moment de leur maximum d'eau; bien que ce soient des moyens permanents généralement plus coûteux que l'intérêt annuel représentatif de la construction et de l'entretien d'ouvrages d'art, leur sont souvent préférables.

Atterrissements dans la Méditerranée

Dans la Méditerranée, les courants de flot et de jusant n'existent pas. Le courant littoral, très-faible, ne peut lutter avec l'effort des vagues et des vents régnants, et tout au plus peut-il charrier les sables fins déjà détachés et *mis en mouvement*. Le soulèvement de ces sables et le transport de la plus grande partie d'entre eux, doivent donc provenir essentiellement

des autres causes indiquées précédemment, c'est-à-dire de l'action des vents régnants et des vagues sur le fond et particulièrement sur les côtes. Les ouvrages des anciens hydrauliciens italiens, le Mémoire de Mercadier, publié en 1788, intitulé *Recherches sur les ensablements*, enfin ceux de M. Fazio, dont M. l'Ingénieur en chef Lemoyne a donné une analyse dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1832 et 1837, sont d'accord sur ce point. Mais les plages de la Méditerranée, privées des courants de jusant et de flot, ne trouvent dans les fleuves torrentiels qui s'y rendent qu'une nouvelle cause d'ensablements à l'embouchure de ces fleuves, parce que les troubles en suspension dans leurs eaux se déposent progressivement, et dans l'ordre de leurs pesanteurs spécifiques, au fur et à mesure que, par leur rapprochement du niveau en quelque sorte permanent de la Méditerranée, leur vitesse se ralentit.

Des Ingénieurs distingués ont émis l'opinion que, dans la Méditerranée, le meilleur emplacement pour être à l'abri des ensablements, serait une anse, où 1° il ne déboucherait aucune rivière ni canal qui *appelât les courants du large*; 2° où il y aurait une assez grande profondeur d'eau pour que le sable et la vase ne pussent être soulevés ou charriés entre les deux caps qui limiteraient l'anse; 3° où l'entrée serait tournée sur les côtes françaises de la Méditerranée, plus vers l'ouest que vers l'est; et en règle générale, au côté opposé au courant littoral, et surtout aux vents régnants.

Dans les localités où les ensablements se portent déjà, il est à peu près reconnu que l'on ne peut s'y opposer; qu'il faudrait se borner à les *cantonner*, pour ainsi dire, dans les zônes où ils auraient le moins d'inconvénients et seraient plus faciles à draguer; et à les appeler même dans ces zônes, à l'aide de canaux naturels ou artificiels prolongés dans les terres, ainsi qu'on le verra dans la description du port de Cette.

L'importance des atterrissements et ensablements opérés par la mer Méditerranée pourra être appréciée par une seule circonstance; c'est que les ports d'Aiguemortes et de Fréjus, d'où partirent les flottes des Croisés du temps de saint Louis, et qui alors étaient sur le bord de la mer, sont maintenant situés dans l'intérieur des terres, et ne restent praticables aux petits navires marchands que par des draguages continuels. Le port d'Ostie, près des bouches du Tibre, fait sous le règne de l'empereur Claude, réparé sous Trajan, est aujourd'hui à plus de 3 milles, ou 4,000 mètres, engagé dans l'intérieur des terres.

On terminera cet article en rapportant ici textuellement ce que M. de Prony et feu M. Sganzin disaient sur les causes d'ensablement des lagunes de Venise, dans le rapport déjà mentionné à la vingt-cinquième leçon sur la navigation intérieure.

« Le courant littoral qui suit les bords de l'Adriatique, et qui, le long » des lagunes de Venise, court de la Piave à Brondolo (voir le plan, figu- » res 351 des planches), ou de la gauche à la droite en regardant la mer, » entraîne dans son mouvement, après les tempêtes, les sables du rivage. » Mais en passant devant les bouches des lagunes, il y rencontre deux fois en » 24 heures d'autres courants opérés à la mer descendante par le jusant, les- » quels poussent au large l'eau introduite dans les lagunes à la mer montante. Figures 351 des planches.

» Ces derniers courants sont, par l'influence du courant littoral, déviés » de leurs directions, et vont prendre la sienne à une certaine distance au- » dessus de chaque passe. A partir et au-dessus de ce point d'incidence, il » se forme entre les lignes de mouvement du jusant et du courant littoral » une ligne ou surface sur laquelle les actions *latérales* sont en équilibre, » et où le mouvement de translation est ralenti, ce qui favorise la préci- » pitation des sables et matières entraînés par l'eau, et donne naissance à » des bancs.

» Chacun de ces bancs doit, d'après la génération que nous venons » d'exposer, être enraciné sur la rive *supérieure* ou d'amont par rapport au » courant littoral, et il s'étend même tout le long de cette rive jusqu'à la » passe, et se termine vis-à-vis la rive inférieure ou d'*aval*; il s'élève ainsi » un barrage vis-à-vis la passe. Le canal compris entre ce banc et la rive » inférieure, est le seul passage praticable aux bâtiments qui le suivent en » marchant dans une direction contraire à celle du courant littoral.

» Il est aisé de concevoir que les dimensions et directions des bancs qui » masquent les passes, dépendent des relations existantes entre la force du » courant littoral, les vitesses et les quantités d'eaux que le jusant fait sortir » des lagunes. Les modifications naturelles ou factices dont ces relations » sont susceptibles, expliquent les divers changements que les passes des » lagunes ont éprouvés.

» Les mêmes effets ont lieu aux embouchures de la Brenta, de l'Adige et » du Pô, parce qu'il se trouve à ces embouchures des combinaisons sem- » blables de courants.

» Les Vénitiens, qui attribuaient les atterrissements de leurs lagunes aux » rivières qui y débouchaient, en ont détourné et conduit directement à la

» mer les quatre rivières de la Brenta, le Bacheleone, la Piave et le » *Sile.* »

Observations générales.

Il résulte de tout ce qui précède : 1° qu'une attention vigilante doit se porter sur les effets des courants de marées, sur les corrosions et atterrissements des côtes, rades et ports, enfin sur tous les travaux effectués à la mer, même lorsque leur objet semble y être tout à fait étranger;

2° Qu'il y aurait à constater périodiquement, et à *inventorier* en quelque sorte la situation de ces côtes, rades et ports, sur tous les points qui intéressent la navigation et la défense des côtes; et cette attribution semblerait appartenir particulièrement à un corps spécial, comme celui des Ingénieurs hydrographes de la marine. Leurs avis devraient être pris au moins dans toutes les enquêtes et études préalables à la rédaction des projets et à l'exécution des ouvrages extérieurs des rades et ports.

Établissement des rades et des ports.

Les développements dans lesquels on est entré suffisent pour signaler la grandeur des difficultés qu'on rencontrera dans l'établissement d'une rade et d'un port militaire ou marchand, sur les côtes et à l'embouchure des fleuves.

Un port militaire dont l'objet est de porter au large, dans le plus grand nombre des circonstances possibles, des forces maritimes destinées à gagner promptement la pleine mer, soit pour protéger des convois, soit pour aller à l'ennemi, ou pour toute autre mission, devrait, sous ce rapport, être établi de préférence sur la partie la plus saillante des côtes, puisque les bâtiments pourraient alors entrer et sortir de tout temps et marcher le long de ces côtes. D'une autre part, pour le facile arrivage des matières premières dans les ports militaires, pour les rapports commerciaux des ports marchands, il serait avantageux cependant que ces ports fussent près d'un fleuve pénétrant dans l'intérieur du pays. Mais à côté de cet avantage est l'inconvénient d'un atterage obstrué par des bas-fonds, par les alluvions de toutes natures fixes ou mobiles.

Considérations générales.

Que si pour éviter ces dernières chances on s'établit sur la côte, il est très-difficile d'y concilier la permanence de la profondeur d'eau nécessaire, avec le calme non moins réclamé par les besoins de la navigation. En effet, si l'on choisit une partie saillante des côtes où les alluvions ne soient pas

à redouter, l'on est exposé à toute la violence de la mer ; et les ouvrages d'art qu'on y construirait avec des dépenses souvent exorbitantes pourraient, en procurant du calme, faire perdre l'avantage de l'absence primitive des alluvions. D'ailleurs, la rade et les établissements du port qui doivent être les plus avancés vers le large, seraient en quelque sorte à conquérir sur la mer, comme à Toulon, à l'aide d'ouvrages d'art d'un développement très-coûteux par leur construction et leur entretien.

Si l'on recherche des baies renfoncées dans les terres à l'abri des vents régnants, on s'expose à des dépôts d'alluvions dont l'enlèvement impose une rente annuelle de dépenses permanentes, à moins qu'on ne se résigne à perdre progressivement tout le capital primitif employé à la création de la rade et du port. Bélidor, dans le tome 4 de l'*Architecture hydraulique*, page 83, dit à ce sujet :

« Le bel emplacement d'une baie ou d'une anse engage à y créer un port : » on y élève à grands frais des jetées et des môles pour le mettre à couvert » des vents traversiers ou du roulis des vagues, et il arrive qu'insensiblement » ment le port s'encombre. La mer trouvant un séjour plus tranquille » que par le passé, y dépose les parties étrangères qu'elle remportait » avec elle, avant qu'on eût rompu la violence de la mer par des digues. » Or, comme il peut se rencontrer des endroits de la côte, et même certains » fonds vers le large d'où il se détache des matières qui se mêlent aux » eaux des tempêtes, il est essentiel d'empêcher les flots de les apporter » dans le port, et de former à la longue une barre nuisible à son entrée. »

Le défaut de profondeur habituelle dans certaines localités peut exposer aussi à haute mer les navires à talonner; et si le fond est dur à la fois, la navigation locale est obligée de ne se servir que de bâtiments dont le système de construction se prête à l'échouage, ou d'établir des bassins pour leur tenue permanente à flot, dans les ports à marée.

L'on aura à craindre sur quelques points, soit un fond trop dur sur lequel les ancres mordraient difficilement et déraperaient; soit des roches isolées ou bancs madréporiques qui useraient les câbles et les couperaient. Sur d'autres points la mollesse du fond exposerait les navires à chasser sur leurs ancres.

Les valeurs considérables immobilières et mobilières accumulées dans les ports marchands et militaires, exigent de plus qu'on ait égard dans leur établissement; aux considérations défensives ; à la sûreté et aux dangers des attérages extérieurs; et à l'exposition des ports militaires des nations voisines.

Enfin la navigation à la voile réclame que l'entrée et la sortie d'un port

soient praticables par les vents régnants le plus grand nombre de jours possible, et pendant la plus grande partie de la marée diurne, dans les ports à marée.

Rarement au reste la création d'une rade ou d'un port a été faite d'un seul jet; presque toujours et partout, des établissements de pêche formés dans des positions plus ou moins heureuses, favorisés par des priviléges commerciaux, sont devenus progressivement des lieux de refuge, puis des lieux d'expédition, et enfin des grands ports marchands et militaires. L'intérêt des populations existantes, des établissements déjà formés, le patronage d'hommes puissants ont été pris en grande considération; et il n'est qu'un bien petit nombre de ports qui seraient projetés aujourd'hui dans l'emplacement où ils ont été construits.

S'il s'agissait toutefois de la création d'un port et d'une rade, il faudrait au préalable de tous projets, prendre connaissance de toutes les observations hydrographiques antérieures, ou à leur défaut entreprendre des observations spéciales pendant toutes les saisons et dans les divers emplacements présumés; rechercher dans les traditions et dans l'expérience des hommes de de mer toutes classes de chaque localité, tous les renseignements possibles sur les directions et la force des vents régnants, l'agitation des eaux, sur les dénivellations des marées, les époques de leurs reversements, sur les directions, intensité et époques du reversement des courants principaux et secondaires, des contre-courants superficiels et sous-marins au flot et au jusant, et surtout sur les érosions et atterrissements le long du rivage. La nature du fond et celle des côtes donneraient les premières indications sur ce dernier objet. Quant à la surface abritée nécessaire au mouillage des bâtiments de commerce dont le tonnage moyen serait de 800 tonneaux, on peut l'évaluer, y compris les passages nécessaires pour la circulation et les mouvements, à 900 mètres quarrés ou 30 mètres en quarré pour chacun.

Rades, ports et arsenaux militaires.

Les grandes dimensions et tirants d'eau des bâtiments de guerre de premier rang, l'espace considérable qu'ils exigent pour leur tenue sur leurs ancres, pour leurs évolutions et leur appareillage, (espace circulaire d'environ 200 mètres de rayon) rétrécissent beaucoup le champ des recherches pour l'emplacement des rades et arsenaux militaires.

Il leur faut d'ailleurs un littoral d'un grand développement: 1° pour les quais d'accostage et pour les opérations d'armement et de désarmement, et celles d'approvisionnement des ports; 2° pour les chantiers, cales et bassins de construction et de radoub; 3° pour l'installation de grands magasins

et hangars de dépôts, et celle d'ateliers de toute espèce; 4° pour l'établissement de casernes destinées aux corps organisés dépendants de la marine de l'état; 5° enfin, pour le placement des bureaux des fonctionnaires de toute espèce employés dans un arsenal militaire.

Dans les ports de commerce, l'état n'a à s'occuper que de la partie hydraulique de ces établissements, et elle y est, en France surtout, sur une échelle beaucoup plus restreinte que dans les arsenaux militaires, à moins que ces ports, comme ceux de Dunkerque, du Havre, de Saint-Servan et de Bayonne, ne doivent en temps de guerre pouvoir servir temporairement à la marine militaire.

Avant de parler des ouvrages principaux d'un port militaire et marchand, on va présenter une description sommaire des principaux ports militaires et marchands existants en France.

On renvoie d'ailleurs au tableau général de la trente-unième leçon pour les heures d'établissement, les unités de hauteur et côtes du plan moyen au-dessus du zéro des cartes marines.

Ports exclusivement militaires.

Ports de l'Océan et à marées.

Le port nouveau de Cherbourg, dont la création remonte à Louis XVI, est situé sur le revers de la presqu'île du Cotentin, à l'est du cap de la Hague, qui termine cette langue de terre. Cherbourg est au fond d'une baie peu enfoncée, et d'une grande ouverture, qui est une rade foraine. Cette baie est ouverte aux vents régnants du N.-O. au N.-E. venant de la Manche, et dont la violence est quelquefois extrême. Le courant principal du flot entre aujourd'hui par l'ouest de la baie, et sort par l'est. Un courant secondaire de verhaule, dirigé de l'est vers l'ouest, remplit le fond de la baie et le port actuel du commerce.

Nouveau port militaire de Cherbourg.

Figures 524 des planches.

Le courant principal de jusant se dirige du S.-E. au N.-E., en sorte que les navires qui veulent sortir de la rade de Cherbourg ou y entrer, le peuvent avec facilité, toutes les fois qu'il n'y a pas gros temps, et en choisissant convenablement l'heure de la marée. Aussi dans les dernières guerres maritimes sous l'Empire, les communications entre Cherbourg et le Hâvre à l'Est, et Granville à l'Ouest, n'ont jamais été interrompues, malgré l'active surveillance des croisières anglaises.

Le sol sous-marin de la baie présente des roches recouvertes de sable : et les alluvions de sable forment des bancs d'une assez grande étendue sur

les atterages de la côte de l'Est. Le ver marin abonde dans la rade et le port de Cherbourg.

Sur le côté ouest de la baie est le nouvel arsenal maritime en construction dont la délimitation, débattue depuis trente ans par le génie militaire, est à peu près définitivement arrêtée aujourd'hui. Elle renfermera une superficie d'environ 450 mètres de longueur sur autant de largeur.

Figures 5.3 des planches

Il existe en ce moment un avant-port d'environ 230 mètres sur 280 mètres, ouvert à la mer dans la direction de l'ouest à l'est, par un goulet évasé d'environ 64 mètres de largeur dans la partie la plus étroite, et $100^m,25$ dans la partie la plus large.

Dans un premier projet, dont l'exécution eût probablement donné plus de calme que celui qui a été suivi, l'entrée de l'avant-port était au sud, et complétement abritée par la côte. L'avant-port actuel a été creusé sous l'Empire à $9^m,24$ en contre-bas des plus basses eaux, et dans un fond de schiste granitique. Les bâtiments du premier rang, complétement armés, y peuvent rester à flot, et n'avoient à y redouter que la violence des vagues dans les tempêtes, avant que la branche Est de la digue ne fût exécutée sur environ 800 mètres de longueur. Le travail de creusement s'est fait à l'aide d'un batardeau colossal, dont l'ouverture solennelle et la démolition subséquente ont présenté beaucoup de difficultés.

Ce batardeau s'appuyait par ses deux extrémités contre les môles de tête exécutés antérieurement, et à l'entrée de l'avant-port. Ces môles eux-mêmes avaient été fondés sur un massif de béton rachetant toute la hauteur d'eau depuis le niveau des basses mers jusqu'au rocher sous-marin. Le béton avait été coulé dans un caisson non foncé, dont les parois avaient été formées par parties à l'aide de plusieurs sonnettes agissant simultanément.

L'avant-port, qui n'est qu'une sorte de petite rade ou de lieu de stationnement pour les bâtiments de guerre, communique vers le nord par une écluse à doubles portes de flot et d'Ebe avec un premier bassin de flot, récemment achevé par MM. les Ingénieurs Fouques-Duparc et Leroux, et aujourd'hui en service. Ce premier bassin a 230 mètres de largeur sur 270 mètres environ de longueur; et est principalement affecté aux opérations d'armement et de désarmement. A l'ouest de ce bassin et de l'avant-port, l'on a projeté sur un axe parallèle, un deuxième bassin de flot de 200 mètres de largeur, et de 400 de longueur. Autour des rives de ces diverses enceintes d'eau, sont ou seront établis les chantiers de construction, ateliers, magasins, etc., etc.

Il n'existe encore à Cherbourg qu'une seule forme sèche de radoub débouchant dans l'avant-port, mais qui n'est point assez profonde pour admettre à toute haute mer les bâtiments du premier rang tout armés. L'arsenal possède en ce moment six cales de construction permanentes, dont quatre couvertes par des toitures fixes sont situées sur la même rive de l'avant-port que la forme. Quelques ateliers et hangars ont été élevés; mais la plupart des établissements de ce genre construits à faux frais sont encore disséminés, soit dans un chantier spécial dit de Chantereyne, qui sera compris dans la nouvelle enceinte définitive, soit sur une portion des rives Est du port de *commerce*, nommé le vieil *Arsenal.*

Pour diminuer l'agitation de la mer, qui rendait la rade très-dangereuse, l'on a commencé, dès le règne de Louis XVI, à une lieue environ au large du fond de la baie, sur une direction de l'est à l'ouest, brisée en chevron vers le nord, et présentant ainsi un angle saillant vers la Manche, une digue ou môle de 3,770 mètres de longueur, encore en construction. Elle doit laisser entre ses deux extrémités et les parties les plus saillantes des côtes deux passes, l'une à l'est de 800 mètres, l'autre à l'ouest de 2,330 mètres de largeur.

Cette digue, que sous Louis XVI on avait voulu former avec de grands cônes isolés, posés base à base, a été sous l'Empire établie sur toute sa longueur en pierres perdues, jusqu'au niveau des basses mers. La branche de l'est s'achève en ce moment sur les projets dressés par feu M. Fouques-Duparc, Inspecteur divisionnaire des ponts et chaussées et directeur des travaux maritimes à Cherbourg, en muraille maçonnée continue, insubmersible aux plus hautes mers agitées. Elle a été élevée au-dessus du niveau des hautes mers calmes d'équinoxe, sur 1000 mètres de longueur, par M. l'Ingénieur Virla, chargé jusques là de ce grand et difficile travail.

Une batterie centrale et des forts aux deux extrémités, sont projetés pour empêcher au besoin les approches de la digue et le passage au travers des passes, déjà défendues d'ailleurs par le fort Royal et le fort de Querqueville, existants sur les côtes à peu près dans l'alignement de la digue. On trouvera dans les appendices du deuxième volume, un précis historique sur la digue de Cherbourg rédigé par M. Lamblardie fils, Inspecteur général des ponts et chaussées et travaux maritimes.

La rade de Brest est un vaste bassin parsemé d'îles, et où débouchent les trois rivières de Penfeld, Landerneau et celle de Châteaulin, qui est la tête du canal de Brest à Nantes. Cette rade intérieure, où l'on évalue Port militaire de Brest

Figures 526 des planches. que 500 bâtiments de guerre peuvent être simultanément à flot et manœuvrer, communique avec une rade foraine extérieure par un goulet d'environ 900 mètres de large, dirigé du N.-E. au S.-O., divisé en deux passes par un large écueil (la roche Maingan), et défendu par des forts et batteries sur les côtes voisines. Les rades foraines de Bertheaume et de Camaret, très-accidentées, ne sont elles-mêmes que le renfoncement extrême dans les terres d'une baie qui est à l'extrémité ouest de la presqu'île de Bretagne. Cette baie a 8 à 9 lieues de profondeur, et 12 lieues de largeur, entre l'île d'Ouessant et la chaussée des Saints.

Le port militaire de Brest est placé sur les deux rives de la rivière de Penfeld. Ces rives sont très-sinueuses et très-encaissées au débouché de la rivière dans la rade, lequel a lieu dans la direction du nord-ouest au sud-est. Le développement total du *chenal du port* depuis l'entrée en rade jusqu'à la Villeneuve en amont, est d'environ 4,600 mèt. sur une largeur moyenne de 110 mèt. pour la partie du port comprise entre l'avant-garde et l'arrière-garde, ou dans l'enceinte des murs de la ville. La longueur de développement intrà muros des *terre-pleins* de la rive droite, dite de Recouvrance, est de 2,200 mèt., sur une profondeur moyenne de 60 mèt. La longueur développée intrà muros des *terre-pleins* de la rive gauche, ou du côté de Brest, est de 2,200 mètres, sur une profondeur moyenne de 50 mètres.

Figures 527 des planches

Les vents régnants dans ces parages sont ceux compris entre le sud-est et le nord-ouest. Mais, grâce au relief prononcé des côtes, l'agitation de la mer dans la rade et le port n'est pas très-grande; le fond de la rade est formé de roches recouvertes de sable vasard; les alluvions y deviennent vaseuses et assez abondantes à l'entrée du chenal du port.

Malgré les eaux douces de la rivière de Penfeld, les bois immergés à Brest sont exposés aux ravages du ver marin, dit taret.

Il n'y a point à Brest d'avant-port ni de bassin de flot; la rivière de Penfeld présente naturellement assez de profondeur à basse mer dans son thalweg, pour tenir à flot des bâtiments du premier rang.

Les grands et beaux établissements du port de Brest ne remontent guère qu'à une centaine d'années. L'encaissement rétréci des rives a forcé de s'étendre sur une plus grande longueur, et d'effectuer avant la construction, des excavations de rochers sur 20 à 30 mètres de haut, ou d'étager les bâtiments par gradins, au-dessus les uns des autres.

L'arsenal de Brest possède deux formes sèches de visite à toute haute mer pour bâtiments de premier rang armés, une sur chaque rive. De plus,

sur la rive droite, dite de Recouvrance, il y a trois formes sèches de radoub et refonte, dont l'une est placée en arrière et dans le même axe que la forme de visite, et dont les deux dernières sont placées également à la suite l'une de l'autre. On a exécuté assez récemment à Brest, sur la même rive de Recouvrance, au lieu dit le Salou, une forme sèche de radoub et refonte pour frégates seulement.

Brest n'a en ce moment que six cales de construction, situées toutes sur la rive droite, et dont une seule est couverte; mais dix nouvelles cales sont en exécution sur la rive gauche, dans l'emplacement d'un ancien jardin au fond du port.

Les magasins d'approvisionnement, de désarmement; les corderies haute et basse; le bagne et la grande caserne dite de Brest, établissements élevés dans le dix-huitième siècle par l'Ingénieur *Choquet de l'Indu;* le nouvel hôpital de Clermont-Tonnerre, projeté et commencé par M. Lamblardie fils, et achevé par M. l'Ingénieur en chef Trotté de la Roche; la nouvelle buanderie à vapeur établie dans l'anse Saupin, sous la direction de ce même Ingénieur en chef, par M. l'Ingénieur Petot; les établissements dépendants du service des subsistances; les grands magasins à poudre élevés en rade sur l'île des Morts, par feu M. Trouille, Ingénieur en chef à Brest, forment une masse imposante de constructions, et qui n'est encore surpassée par les constructions analogues d'aucun autre arsenal français ou étranger.

Port militaire de Lorient.

Figures 528 des planches

La rade de Lorient est, comme celle de Brest, un bassin abrité, mais d'une petite dimension, divisé par une île en deux passes, et où débouchent sur le même point les rivières du Scorff et de Blavet. Cette dernière canalisée se rejoint à Pontivy avec le grand canal de Nantes à Brest. La rade intérieure communique avec une rade foraine extérieure *par un goulet très-étroit*, placé au pied de la citadelle du Port-Louis, et qui est dirigé presque du nord au sud. La rade foraine est très-envasée, et ne peut être franchie aux approches du goulet qu'à mi-marée par des bâtiments armés du premier rang; mais elle est abritée contre les vents du sud-est au sud-ouest par l'île de *Groa*, située à une lieue et demie du goulet, longue d'une demi-lieue, et qui remplit pour cette rade foraine le but qu'on s'est proposé à Cherbourg par la création d'une digue artificielle. En effet, cette île laisse entre ses deux extrémités et les côtes opposées deux passes à l'ouest et à l'est, rétrécies par de nombreux hauts-fonds et écueils.

La rade foraine de Lorient est d'ailleurs dans le renfoncement d'une baie de 2 à 3 lieues de profondeur et de 7 lieues d'ouverture, qui est limitée

à l'ouest par la pointe de Penmarch, et à l'est par celle de Quiberon et par Belle-Ile.

Cette position a empêché, dans les dernières guerres maritimes sous l'Empire, que les croisières anglaises n'interceptassent les communications entre Lorient et Nantes. Le même avantage ne pouvait malheureusement s'étendre à l'ouest au delà de l'embouchure de la rivière de Quimper.

Le port militaire est situé, comme celui de Brest, sur les deux rives d'une rivière, celle du Scorff, qui débouche dans la rade, dans la direction du nord-est au sud-ouest, au même confluent que la rivière du Blavet. Il résulte même de cette jonction une pointe de vase qui barrerait le port sans l'action du flot et du jusant, qui remonte à près de 2 lieues dans la vallée du Scorff.

Les vents régnants dans ces parages sont les mêmes qu'à Brest, et ne produisent qu'une faible agitation. Le sol sous-marin de la rade et du port, en sable vasard et en vase ferme, est d'une bonne tenue pour les bâtiments de guerre. Les alluvions sont assez abondantes; elles contiennent du sable pur, qui se dépose en amont du goulet; du sable vasard, qui forme des lagunes riveraines à la rade et au chenal du port; et de la vase molle, qui tapisse les parois de ce dernier.

Malgré les eaux douces de la rivière du Scorff, les bois immergés dans le port de Lorient y sont exposés aux ravages du ver marin (dit taret).

Il n'y a point à Lorient d'avant-port ni de bassin de flot; la profondeur d'eau dans le chenal du port est suffisante pour des vaisseaux de 90 canons, en état de *commission* ou d'*armement*. L'on a entrepris récemment sur une grande échelle le curage extraordinaire des passes de la rade; il sera effectué pendant l'été avec les mêmes appareils et moyens, qui pendant l'hiver fonctionneront dans le chenal du port.

Le port de Lorient est un grand chantier de construction; son développement total en longueur est d'environ 1,400 mètres, et la largeur moyenne des terre-pleins des rives est de 350 mètres. Il renferme une forme sèche de radoub, commencée en 1820 et achevée en 1833; treize cales de vaisseaux, dont une a été couverte de 1817 à 1820, d'après les projets de M. Lamblardie fils; treize cales de bricks et corvettes; et les localités permettraient d'établir encore douze nouvelles cales. Outre les magasins, construits de 1720 à 1760 par les Ingénieurs Saint-Pierre et Guillois pour la Compagnie des Indes occidentales, fondatrice du port de Lorient, cet arsenal présente depuis peu d'années un grand ensemble de

Figures 529 des planches.

nouveaux ateliers de diverses dénominations pour le service des constructions navales, desservis par des machines à feu et munis de nouveaux moyens de fabrication.

On avait projeté avant 1816 de barrer la rivière du Scorff en amont du port militaire par un pont éclusé qui devait empêcher la marée de remonter dans la vallée. L'exécution de ce projet aurait diminué énormément le volume des eaux de la mer appelées dans le Scorff et la vitesse des eaux du jusant, et eût causé ainsi en peu d'années l'envasement du port militaire. Par suite des représentations faites par M. Lamblardie fils, alors directeur des travaux maritimes à Lorient, ce projet a été heureusement abandonné, et le flot a conservé, à la rencontre avec la route royale, un goulet de 80 mètres de largeur, traversé par un pont en charpente, et qui le sera ultérieurement par un pont suspendu. Néanmoins, le simple rétrécissement du débouché du Scorff par les premiers remblais effectués, a de beaucoup augmenté l'étendue des alluvions en aval vers le port militaire.

Ce port militaire est situé dans l'intérieur des terres, sur la rive gauche de la rivière de la Charente, qui à quatre lieues plus bas, débouche dans les rades de l'île d'Aix et des Basques, et dans la direction de l'est à l'ouest. Port militaire de Rochefort.

Ces rades, dans lesquelles stationnent les bâtiments en appareillage et ceux qui reviennent de la mer, sont abritées par les îles de Ré et d'Oleron, et communiquent avec la pleine mer par deux passes d'environ 6 à 7 lieues de large, dirigées également est et ouest, comprises entre ces îles et la côte, et nommées, l'une le pertuis d'Antioche, et l'autre le pertuis Breton. Il y en a une troisième, celle dite de Monmusson, entre l'île d'Oleron et l'embouchure de la Seudre sur la côte, mais qui est rarement pratiquée par les vaisseaux. Figures 530 des planches.

L'ensemble des deux îles, des passes, des rades, forme une grande baie d'environ 6 à 7 lieues de profondeur, au fond de laquelle débouche la rivière de la Charente.

Les vents régnants dans ces parages sont ceux compris entre le sud et le nord-ouest par l'ouest; l'agitation de la mer dans les rades de l'île d'Aix et des Basques n'est pas considérable. Le fond est un sable vasard et de bonne tenue.

Les alluvions en vase molle sont très-abondantes dans le cours de la Charente et dans le chenal du port militaire. Toutefois ce dernier, dans son état actuel, peut tenir à flot, même pendant les plus basses mers, des

vaisseaux de premier rang. Aussi le port de Rochefort n'a point d'avant-port ni de bassin de flot.

Cet arsenal, fondé par Louis XIV dans un pays fertile, abondant en vivres et liquides pour l'approvisionnement des bâtiments de guerre, offre, par les rades de l'île d'Aix et des Basques et le cours de la rivière, de grandes ressources pour la concentration, l'armement et le stationnement des grandes forces navales. Malheureusement l'insalubrité de l'air, surtout dans les jours caniculaires, quoique bien atténuée par des travaux de desséchement toujours en activité, est encore très-pernicieuse. De plus, la nature molle du terrain, dans presque toute l'étendue du port, rend tous les ouvrages de fondation très-dispendieux, et compromet la stabilité de la plupart des constructions. Si les bois immergés y sont à l'abri du ver marin par la grande abondance d'eaux douces, les bois non immergés y sont exposés aux ravages d'une espèce particulière de vers nommés *termites*, qui corrodent longitudinalement en tuyaux creux l'intérieur des pièces.

Figures 531 des planches. L'arsenal de Rochefort, qui occupe une longueur d'environ 2,200 mètres sur une largeur moyenne de terre-pleins de 320 mètres, possède en ce moment trois anciennes formes sèches dont deux, placées à la suite l'une de l'autre dans le même axe, sont abritées par des couvertures fixes. Ces formes manquent de profondeur et de largeur pour les visites des bâtiments armés du premier rang; deux d'entre elles ne pourraient admettre que des vaisseaux de 4e rang (74), et la troisième n'est praticable que par les corvettes et les bricks.

Le nombre des cales pour vaisseaux et frégates y a été porté jusqu'à treize, et pourrait encore être augmenté. Trois de ces cales sont abritées sous des toitures supportées par des fermes verticales en bois équidistantes sur chaque rive de la couverture.

Rochefort présente en outre un ensemble très-étendu d'établissements, parmi lesquels on distingue les anciennes fosses d'immersion pour les bois, les nouvelles exécutées par MM. les Ingénieurs Matthieu et Lemoyne, les ateliers et magasins des subsistances, les nouvelles halles de travail pour les chantiers de construction des bâtiments de guerre, enfin un hôpital très-étendu.

Nota. Lorient et Rochefort se trouvent d'ailleurs l'un près de l'entrée nord, et l'autre au fond de ce vaste golfe de Gascogne de 126 lieues d'ouverture et 90 lieues de profondeur, qui est limité d'une part, à l'ex-

trémité de la presqu'île de Bretagne, et de l'autre au cap Finistère en Galice.

Ports militaires sans marées dans la Méditerranée.

Le port militaire de Toulon est le seul que la France possédait dans la Méditerranée avant la conquête d'Alger; par des circonstances politiques, il est devenu l'arsenal le plus important de la marine militaire. Il est question en ce moment de jeter à Port-Vendres, dans le Roussillon, les bases d'un nouvel établissement militaire. Port de Toulon.

L'arsenal de Toulon est situé au fond d'une rade abritée, d'environ 2 lieues et demie de profondeur et de 1 lieue et demie d'ouverture, dont la bouche est dirigée du N.-O. au S.-E. Cette rade n'est que le renfoncement d'une baie ou rade foraine plus grande, comprise entre le cap Cizée à l'ouest, et celui d'*Escampo-Barriau* à l'est. Enfin cette dernière baie est elle-même près de l'entrée et à l'est du grand golfe de Lyon. A l'est, en s'avançant vers le comté de Nice, l'on rencontre les célèbres îles d'Hyères, qui forment aussi une rade foraine pour le stationnement des escadres. Figures 532 des planches.

L'emplacement du port a été en partie conquis sur la mer par des môles de 20 mètres de largeur au minimum dans le couronnement, dont le contour enveloppe deux bassins naturels en quadrilatère, nommés l'un la *Darse vieille*, d'environ 511 mètres de longueur sur 320 mètres de largeur, et formé par Henri IV; l'autre, la *Darse neuve*, d'environ 500 mètres de longueur sur 400 mètres de largeur, formé par Louis XIV. Ces deux darses, à l'est l'une par rapport à l'autre, sont séparées par un môle de refend, au travers duquel existe une passe d'environ 30 mètres de largeur, couverte par un pont mobile. Chacune de ces darses communique d'ailleurs directement avec la rade par une passe de 30 mètres environ, dans les môles faisant front à la mer du large. Figures 533 des planches

Les rives des darses vers la terre, et leurs môles de ceinture, portent les nombreux ateliers et établissements civils de l'arsenal de Toulon. Toutefois la rive de la vieille darse, vers la ville, est occupée par le port marchand.

La trop faible superficie des terre-pleins disponibles a fait créer depuis vingt ans des annexes extérieures à l'*arsenal* de Toulon: l'une, située sur la rive ouest de la rade, dite de Castineau, comprend un vaste hôpital de

réserve nommé Saint-Mandrier, dont la construction a été consolidée par M. Bernard, Ingénieur en chef, aujourd'hui directeur des travaux maritimes à Toulon. L'autre annexe, dite le Mourillon, de 1,800 mètres environ de développement sur 230 mètres de largeur moyenne, se trouve sur la rive est, à moins d'un quart de lieue de la vieille darse, et contient un grand chantier de construction.

Les vents régnants dans les parages de Toulon sont les vents chauds de la mer, compris entre le sud-est et l'ouest, et particulièrement le sud-est, qu'on appelle le *sirocco* ou *levante* ; les vents de terre, qui viennent des Alpes, compris entre le nord et l'est, et entre autres le *mistral* ou vent du nord-est.

L'agitation de la mer est peu considérable dans la rade de Toulon, et le fond, en *saffre* assez dur, recouvert de sable vasard, est d'une bonne tenue pour les bâtiments. Les alluvions ne sont pas très-abondantes, et ne consistent qu'en vase sablonneuse.

Il n'y a point d'avant-port à Toulon; la position du port dans une mer calme non sujette aux marées le dispense d'ailleurs de bassins à flot éclusés. La profondeur d'eau dans les deux darses est suffisante pour des bâtiments de guerre du premier rang complétement armés.

L'arsenal de Toulon n'avait qu'une seule forme sèche, dont l'établissement est dû au célèbre Grogniard, Ingénieur des constructions navales, et a été l'application en grand du système de construction par caissons. M. l'Ingénieur en chef Bernard, déjà mentionné, a fait les projets et suivi l'exécution, d'après un nouveau système proposé par feu M. Sganzin, de deux nouvelles formes sèches placées latéralement à la suite de la première. L'une d'elles est presque achevée en ce moment.

Toulon ne compte dans les darses vieilles et neuves que six cales pour vaisseaux et frégates, dont deux couvertes récemment. On a entrepris au Mourillon l'établissement de dix à quinze autres nouvelles cales, qui seront groupées cinq par cinq sous des toitures fixes accolées. Le port de Toulon a reçu d'ailleurs depuis une trentaine d'années plusieurs nouveaux établissements, tels que ceux du magasin général, des nouveaux ateliers de constructions navales, etc.

Nota. On trouvera des détails d'un haut intérêt sur les établissements de la marine militaire de France dans le rapport sur le matériel de la marine de M. le baron Tupinier, député, conseiller d'état et directeur des ports au ministère de la marine. Ce rapport a été imprimé en 1838.

RÉSUMÉ DE LA TRENTE-TROISIÈME LEÇON

DESCRIPTION DES PRINCIPAUX PORTS DE COMMERCE FRANÇAIS.

Ports sur l'Océan sujets aux marées.

On ne fera aucune mention des ports de commerce reculés à l'amont de l'embouchure vers l'intérieur des rivières, tels que ceux de Gravelines, de Saint-Valery-sur-Somme, de Rouen, de Caen, de Paimpol et Lannion, de Saint-Brieux, Tréguier, Morlaix, Landerneau, Pont-l'Abbé, Quimper, Quimperlé, Hennebon, Auray, Vannes, Paimbœuf, Nantes, Libourne, Bordeaux, Bayonne, attendu qu'ils ont ou peuvent avoir en commun : 1° avec les traversées des rivières dans les villes, les quais, plans inclinés, cales, escaliers et débarcadères ; 2° avec les ports situés sur les côtes, des docks ou bassins de flot éclusés, des grils de carénage, des formes sèches, et qu'ils n'exigent pas, comme les ports littoraux, des ouvrages de garantie contre les effets des vagues.

Pour cette description, on s'est servi avec fruit des documents soumis aux chambres législatives dans les sessions de 1835 à 1839, et publiés dans le Moniteur général, et de la nouvelle statistique des ports de commerce dressée en 1839 par l'administration des ponts et chaussées.

Ce port, le plus septentrional de la Manche, complété par le célèbre Vauban, dont l'état primitif est décrit dans l'*Architecture hydraulique* de Bélidor, est reculé dans l'intérieur de la ville de Dunkerque. Là il communique, par un arrière-port d'environ 300 mètres de long et 70 mètres de large, avec différents canaux de navigation intérieure. Parallèlement à cet arrière-port de même longueur que lui, mais avec 100 mèt. de largeur, est un grand bassin de flot éclusé appartenant à la marine militaire, et bordé d'établissements de réserve dépendants de ce service. L'écluse de ce bassin a été élargie pour le passage de grands bateaux à vapeur, et munie de portes busquées analogues à celles de l'arrière-bassin du port militaire de Cherbourg. En aval de cet arrière-port et bassin de flot, se trouvent à la

Port de Dunkerque

Figures 534 des planches.

suite l'un de l'autre le port d'échouage et l'avant-port, ayant ensemble environ 500 mètres de longueur sur 110 mètres de largeur. La surface totale d'eau *utilisable* est de 7$^{\text{hect.}}$,24, et peut recevoir 300 navires de toute grandeur.

Leur axe longitudinal est fortement brisé, et se raccorde en pan coupé vers l'aval, par un tournant presqu'à angle droit, avec un chenal rectiligne de communication avec la mer, lequel a plus de 1,500 mètres de longueur, et est dirigé du nord-ouest au sud-est. Ce chenal, d'une largeur moyenne de 50 mètres, est bordé par deux jetées de même longueur, légèrement divergentes de l'amont vers l'aval.

Sur la rive gauche de ce chenal, en regardant la mer, à peu près à 700 mètres en amont de la tête de la jetée de l'ouest, on a établi de 1825 à 1828 une vaste retenue d'eau éclusée pour les chasses, demi-circulaire, avec entrée à entonnoir, de plus de 700 mètres de longueur, d'environ 30$^{\text{hect.}}$,50 de surface, dont l'axe, dirigé de l'amont à l'aval, fait un angle d'environ 126° avec celui du chenal d'entrée du port. Les chasses de cette retenue ont pour but d'entraîner au large les alluvions vaseuses très-abondantes dans le chenal d'entrée. Sur la rive droite du même chenal, et presque vis-à-vis le débouché des chasses de la rive opposée, ce chenal s'embranche avec un canal ou fossé dit *la cunette*, dirigé aussi par rapport au chenal de l'aval à l'amont, sous un angle de 130°, et susceptible aussi de donner des chasses à marée baissante.

Enfin la retenue d'eau du bassin du flot et celle des canaux de navigation débouchant dans l'arrière-port peuvent aussi, de temps à autre, être employées à nettoyer le port et l'avant-port.

Figures 535 des planches.

Dunkerque est situé à l'entrée de la mer d'Allemagne ou du Nord, mais dans la partie des côtes françaises qui, ainsi que leurs correspondantes d'Angleterre, divergent vers le nord. Par cette position, par les nombreux établissements dépendants de la marine militaire, et entre autres le bassin de flot qui a été dévasé de manière à admettre des frégates de guerre, par la puissance des chasses de retenue d'eau, le port de Dunkerque est appelé à un rôle important en cas de guerre maritime avec l'Angleterre ou avec les puissances du Nord.

Les vents régnants sont du nord-ouest à l'est; mais particulièrement les premiers déterminent une agitation considérable; et, comme on l'a dit, les alluvions sont très-abondantes, vaseuses dans le port, et sablonneuses en dehors du chenal, où elles forment des hauts-fonds aux attérages.

Les jetées actuelles du chenal sont insubmersibles, massives et continues, formées de digues en terre revêtues de pérés, ou de coffrages en bois remplis de pierrailles. Toutefois, 585 mètres à l'origine de la jetée de l'est, près l'écluse de la Cunette, sont en estacade à claire-voie protégée sur 365 mètres par un terre-plein.

Malheureusement la plage sablonneuse en pente douce aux attérages de Dunkerque s'allonge de plus en plus vers la mer; et la laisse des basses mers de vive eau est aujourd'hui à plus de 330 mètres au large des jetées. Les chasses n'ont pu maintenir à cette tête que 50 centimètres d'eau à basse mer, et ne produisent plus d'effet à 200 mètres au large; en sorte que des bâtiments de 3m,30 à 3m,60 de tirant d'eau peuvent seuls entrer dans les circonstances ordinaires, et que ceux de 4m,60 ne peuvent franchir les passes que dans les fortes vives eaux.

On s'occupe en ce moment de prolonger les deux jetées au large d'environ 200 mètres, jusqu'à une fosse *sous-marine* d'une profondeur presque indéfinie. L'on conserverait au chenal sa largeur et sa direction actuelles; et l'on donnerait à la jetée de l'ouest quelques mètres de saillie sur celle de l'est vers le large, pour faciliter les mouvements des navires entrants et sortants.

Il est présumable que ces jetées seront à claire-voie et garnies à leur base d'une risberme en tunages.

L'on doit aussi établir un bassin de flot spécial pour le commerce plus près du chenal, attendu que les bâtiments ne peuvent, dans une seule marée haute, entrer dans le port de Dunkerque, et atteindre le bassin à flot prêté par la marine, et qui est trop reculé dans l'intérieur de la ville.

Dunkerque possède un gril de carénage et de radoub et quelques chantiers de construction à droite au fond du port.

Calais est situé à peu près au point le plus étroit de la Manche, où les courants de flot de la marée qui entre par le sud dans la Manche, viennent se rejoindre avec les courants de flot qui, après avoir contourné l'Irlande et l'Écosse, arrivent de la mer d'Allemagne par le nord. Port de Calais. Figures 536 des planches

L'entrée de Calais est facile par tous les vents, et en fait un port de relâche précieux dans ces parages qui sont fort dangereux pour la navigation.

Le port est situé sur la rive droite d'une crique. Il est en amont d'un coude, presqu'à angle droit, que cette crique fait pour se raccorder avec la passe d'entrée. Ce coude forme une sorte d'avant-port. Le chenal aboutissant à la mer est dirigé du nord-ouest au sud-est sur 1,300 mètres de lon- Figures 537 des planches.

gueur. Il est bordé comme celui de Dunkerque par deux jetées insubmersibles continues et massives (sauf 160 mètres à claire-voie à l'extrémité de la jetée de l'est), qui laissent entre elles un débouché; d'environ 90 mètres de large en aval du coude; et d'environ 110 mètres vers le large.

La rive gauche du port est formée d'une dune de sable à peu près insubmersible. La longueur des deux rives est moyennement de 1,000 mètres, sur une largeur moyenne de 180 mètres. Calais ne possède aujourd'hui qu'un bassin non éclusé avec gril de carénage, dit le Paradis, d'environ 150 mètres sur 60 mètres, dont l'entrée est placée sur la rive droite, et presqu'à l'origine amont du coude de raccordement déjà cité.

Les vents régnants sont les mêmes à Calais qu'à Dunkerque, et d'une grande violence. Les alluvions de même nature en dedans qu'au dehors du port sont sablonneuses et très-abondantes. En facilitant les exhaussements de terrains par voie de dessèchement, elles ont réduit aussi avec la largeur la masse d'eau qui entrait au flot et formait *chasses* au jusant. Elles ont ainsi diminué en 300 ans la profondeur d'eau de telle manière que dans les vives eaux ordinaires, des bâtiments de 300 tonneaux abordent avec difficulté sur des points où autrefois il y avait de l'eau pour des bâtiments de 1,000 tonneaux.

Il est question en ce moment pour améliorer l'état de ce port, et satisfaire aux besoins pressants de la navigation marchande, et surtout des communications par bateaux à vapeur avec l'Angleterre :

1° De prolonger les jetées actuelles insubmersibles d'environ 260 mètres, jusqu'à la laisse des basses mers de vive eau, en leur laissant à peu près la même saillie vers le large. Ces prolongements seront formés de parties submersibles en fascinages atteignant le plan moyen des mi-marées, et surmontées d'estacades à claire-voie et de chemins de halage;

2° De transformer la zône nord et le fond de l'arrière-port en bassin de retenue, qui pût aussi servir extraordinairement de bassin de flot. Ce bassin, capable de lancer un million de mètres cubes d'eau par marée, s'allongerait en canal à goulet sur la rive gauche du port, pour aboutir à une écluse avec pertuis servant de chasse et de navigation.

Cette écluse déboucherait à l'entrée amont du chenal et en aval du coude de raccordement déjà mentionné précédemment. Elle aurait trois passages; celui de 10 mètres au milieu donnerait accès aux bâtiments, et en même temps fonctionnerait pour les chasses; les deux autres, latéraux,

de 4 mètres de largeur, ne serviraient qu'aux chasses. Le premier serait défendu par un système de portes d'Ebe et de flot; les deux autres n'auraient que des vantaux de chasses, et deux portes *simples* qui y suppléeraient en cas de besoin;

3° L'intervalle qui resterait entre ce goulet et les quais de la rive droite du port actuel serait divisé en deux portions. Celle d'amont, qui se trouverait ainsi en aval de la partie postérieure du nouveau bassin de retenue, et sous les murs de la citadelle de Calais, serait un bassin de flot éclusé de 250 mètres de longueur sur 75 mètres de largeur; celle d'aval resterait port et avant-port d'échouage. L'écluse du bassin aurait d'ailleurs $16^{m},50$ de largeur pour l'entrée des plus forts bateaux à vapeur actuels;

4° Le nouveau bassin de retenue serait mis en rapport avec le fond du port d'échouage par des aqueducs qui auraient pour objet d'opérer des chasses dans le port et l'avant-port, et en même temps d'y verser, un peu avant le moment des grandes chasses dans le chenal, une nappe d'eau suffisante pour empêcher le *remou* de ces grandes chasses vers l'intérieur de l'avant-port et du port.

Le port de Boulogne est situé, par rapport à la mer, sur la rive sud du cap Grisnez. Il a dû l'importance de ses ouvrages maritimes au projet de descente en Angleterre, en 1805. Ce port est placé sur la rivière de Liane, à son débouché à la mer. L'on a transformé cette rivière en bassin de retenue pour les chasses. La surface de la retenue est de $60^{hect.},30$; elle peut fournir 220,000 mètres cubes d'eau dans la première heure. En aval du bassin, et dans le même axe que lui, se présentent d'abord l'arrière-port de 150 mètres en carré, puis un avant-port de plus de 600 mètres de longueur sur 130 mètres de largeur moyenne. Sur la rive gauche de ce dernier a été creusé un bassin de refuge non éclusé, demi-circulaire, de près de 200 mètres de rayon.

Port de Boulogne.

Figures 538 des planches

Figures 539 des planches

L'avant-port, vers l'aval, se raccorde par un alignement brisé avec une passe d'environ 80 mètres de débouché, dirigée précédemment du nord-ouest au sud-est.

Boulogne ne possède du reste qu'un gril de carénage et une cale de construction.

Les deux jetées primitives insubmersibles n'avaient qu'environ 200 mètres de longueur; mais à la suite de la jetée de droite ou de l'est s'étendait

une jetée basse submersible en petits fascinages, d'environ 1,200 mètres de longueur.

Cet état de choses a été changé, avec le plus grand succès, en 1835. La passe a été infléchie plus vers la direction S.-E., et a été bordée par deux jetées, dont celle du S.-O, c'est-à-dire du côté d'où viennent les alluvions, est plus longue de 172 mètres que celle du N.-E. La première est pleine et insubmersible; la deuxième est formée d'une claire-voie. Elles s'avancent vers le large d'environ 600 mètres en debors de la ligne des falaises.

Le port de Boulogne ne peut recevoir en ce moment que des bâtiments de 3 à 4 mètres de tirant d'eau; on se propose de le recreuser dans toute sa partie aval, et d'établir ultérieurement un bassin de flot éclusé.

Les vents régnants à Boulogne sont ceux compris entre le sud-ouest, l'ouest et le nord-ouest, et particulièrement ce dernier qui développe une grande agitation. Le courant de flot qui vient à Boulogne du sud par la Manche porte ensuite de Boulogne à Douvres, et facilite singulièrement le trajet dans les vents d'ouest.

Les alluvions sont abondantes à Boulogne et de nature sablonneuse.

Port d'Ambleteuse.

Figures 538 des planches.

Ce petit port, presque entièrement comblé aujourd'hui par les sables, était, lors de la descente projetée en Angleterre, une succursale de Boulogne. On n'en fait mention que pour rappeler que dans quelques jours on était parvenu à y former un chenal provisoire, par des jetées basses, construites en petits piquets, en arrière desquels on avait placé des bottes de paille. Les alluvions en sable fin étaient déposées dans ces couches de paille par l'eau du flot, qui se frayait ensuite un passage à travers les piquets.

Figures 539 *bis* des planches.

Le chenal du port d'Ambleteuse, dirigé est et ouest, est limité du côté du nord par une jetée basse d'environ 500 mètres de longueur; et du côté du sud, par une jetée insubmersible d'environ 220 mètres de longueur, à la suite de laquelle vers le large est une jetée basse d'environ 278 mètres de longueur. Les chasses d'eau, complétement insuffisantes, n'ont pour réservoir qu'un fossé qui aboutit à une écluse de desséchement.

Le port de Tréport.

Figures 540 des planches.

Le port de Tréport est situé à l'embouchure de la rivière de Bresle, à une lieue en aval de la ville d'Eu, au sud de la baie de Somme, sur une plage exposée aux mêmes vents régnants et aux mêmes alluvions que celle du port de Dieppe dont on parlera tout à l'heure.

Figures 541 des planches.

Le chenal d'entrée et le port sont dirigés à peu près du sud-est au

nord-ouest et sont à l'abri des vents compris entre l'ouest-nord-ouest et le sud-sud-est en passant par le sud; l'accès en est facile aux navires. Ces derniers peuvent prendre le large sans être exposés à périr, comme il arrive à Dieppe et aux ports de la Manche dont les entrées sont ouvertes aux aires de vents entre l'ouest et le nord-ouest.

Le chenal de 200 mètres de long et d'environ 40 mètres de large est bordé aujourd'hui de deux jetées pleines en charpente. Celle du sud-ouest, de 230 mètres du côté d'où viennent les alluvions, est plus longue que l'autre qui n'a que 160 mètres. Cette dernière diverge de la première sur 40 mètres de longueur en deçà de l'extrémité vers le large.

La jetée du sud-ouest présente près de sa tête une claire-voie de 80 mètres de longueur, en arrière de laquelle est une plage de 20 mètres de profondeur moyenne.

La rivière de Bresle tombe au milieu de la passe, suivant un angle obtus de l'amont à l'aval de 112°.

Le port, bordé de quais brisés sur différents contours, a une longueur de 320 mètres environ sur une largeur de 80 mètres.

Au fond du port est une vaste retenue d'eau d'environ 700 mètres de longueur, et dont la largeur moyenne est d'environ 275 mètres. L'axe de l'écluse de chasse forme un angle d'environ 125° avec l'axe prolongé de la passe et de l'amont vers l'aval. On trouvera dans l'ouvrage publié par feu M. Decessart la description de cet ouvrage et de son exécution.

Aujourd'hui l'on se propose de rectifier le lit de la Bresle sur une largeur de 20 mètres, en empiétant sur les zônes nord de la retenue, dont le nouveau lit ne sera séparé que par une large levée. On établira dans la rivière de Bresle un sas éclusé de 8 mètres de largeur en amont de sa jonction avec le chenal du port; l'on approfondira et élargira le lit de cette rivière en amont du sas pour le transformer en bassin de flot de 1$^{hect.}$,60 de surface. Le sas éclusé avec 4 paires de portes busquées dont deux de flot et deux d'Èbe aura pour objet d'empêcher les eaux de la marée montante de pénétrer dans la rivière en rendant toutefois praticable le passage de l'écluse à toute marée haute.

Une petite écluse à clapet de 8 mètres de largeur, aussi annexée latéralement au sas éclusé, sera destinée à faire évacuer les eaux de la rivière à marée baissante de manière que, quelle que soit leur abondance, elles ne puissent dépasser un niveau constant suffisant pour la navigation jusqu'à

la ville d'Eu, et en contre-haut duquel elles gêneraient les usines en amont et pourraient inonder les rives de la Bresle.

Port de Dieppe

Figures 542 des planches.

Dieppe est au fond de la baie de près de 40 lieues de longueur et de 13 lieues de renfoncement, qui est limitée au nord par le cap Gris-Nez et au sud par le cap d'Antifer; la corde de cette baie est à peu près perpendiculaire à la direction des vents du nord-ouest.

Le port de Dieppe est établi sur la rivière d'Arques. Il présente dans la partie la plus reculée une retenue d'eau de 46$^{hect.}$,40 de surface en vive eau, avec écluse pour chasses, exécutée en 1780 par MM. Décessart et Lamblardie père. Elle est alimentée par une dérivation de la rivière et au besoin par la mer, et peut lancer 520,000 mètres d'eau dans la première heure d'ouverture des portes en vive eau.

On renvoie pour la description de cette écluse, des travaux d'exécution et des travaux subséquents de restauration aux ouvrages de M. Décessart et aux mémoires de M. Bérigny, inspecteur général des ponts et chaussées.

L'arrière-port de Dieppe a 100 mètres de largeur moyenne sur 400 mètres de longueur, divisés en deux par une passerelle flottante; il reçoit au fond la rivière d'Arques par dérivation. Situé latéralement à la retenue, et sur un axe à peu près parallèle, il débouche de front avec elle dans le port; mais comme ce dernier fait ensuite un coude presque à angle droit avec l'axe de la retenue, les chasses que cette dernière produit sont loin d'avoir toute l'efficacité qu'elles auraient eue si leur direction avait été très-oblique de l'amont à l'aval. Au reste, cette position de la retenue et de l'écluse de chasse se rattachait à un projet aujourd'hui abandonné et dans lequel on ouvrait une nouvelle passe entre le port et la pleine mer, à peu près dans le prolongement de l'axe de la retenue.

Sur la rive ouest de l'arrière-port ci-dessus on a établi récemment et en communication avec lui un bassin de flot éclusé d'environ 250 mètres de long sur 120 mètres de largeur, ayant 560 mètres courants de quais accostables et pouvant contenir 25 grands navires.

L'écluse a 14 mètres de débouché; mais son grand éloignement des passes ne permet pas aux bâtiments de l'atteindre dans une seule marée, et les oblige à échouer dans l'avant-port.

A l'aval, le port présente un développement de 460 mètres de longueur sur 160 mètres de largeur moyenne, sur la rive sud duquel on remarque une cale de radoub de 70 mètres de longueur et de 50 mètres de profondeur en dedans de la rive. Au delà, par un nouveau coude d'environ 130°,

le port se raccorde avec une passe d'entrée à contours brisés d'environ 600 mètres de longueur et 80 mètres de largeur moyenne et orientée à la tête vers le large, du nord-ouest au sud-est. Cette passe sur les 500 premiers mètres à l'amont est bordé de terre-pleins insubmersibles. A l'origine *amont* de la passe, sur la rive est, se trouve une claire-voie de 100 mètres de longueur de façade pour amortir les vagues, en arrière de laquelle est une plage de 60 mètres sur 25 mètres. Figures 543 des planches

Une jetée pleine d'environ 300 mètres de longueur borde le chenal à gauche et à l'ouest du côté d'où viennent les alluvions; tandis qu'à l'est la jetée est bien plus courte et s'allonge en épi submersible.

D'après un projet récemment adopté, l'on doit placer à la suite de la jetée insubmersible de l'est un prolongement tracé suivant une courbe convexe vers l'intérieur de la passe et de manière à réduire la largeur du chenal à 40 mètres vis-à-vis le Calvaire, c'est-à-dire à 100 mètres en deçà de la tête vers le large. On espère que par cette convexité le courant des chasses sera dirigé vers les zônes extrêmes de la jetée de l'ouest, et entrainera au dehors les *pouliers* de galets amoncelés à l'intérieur de la passe au pied de cette jetée. On espère de plus que le ricochet des chasses sur ces pouliers portera les courants de flot vers l'est et repoussera ainsi les alluvions de manière qu'elles ne puissent plus rentrer dans la passe. La nouvelle jetée doit dans ce projet être à claire-voie pour amortir la violence des vagues dans la passe; et il y aura en arrière un brise-lame en plan incliné allongé rattaché à la côte et raccordé avec la tête du prolongement de la jetée, sur lequel les vagues déferleront.

Il est question aujourd'hui de transformer l'arrière-port tout entier en bassin de flot, en amont de la pointe du Pollet, où l'écluse de chasse est placée, et en ouvrant un nouveau débouché aux eaux de la rivière d'Arques. Les eaux de cette vaste nappe serviraient d'ailleurs d'auxiliaires à celles de la retenue.

Les vents régnants sont à Dieppe depuis le nord jusqu'au sud-ouest en passant vers l'ouest, mais particulièrement les vents d'ouest et nord-ouest qui donnent une grande agitation à la mer. Les alluvions sont formées de galets et menus graviers; leur origine est parfaitement expliquée dans le mémoire déjà cité sur les côtes de la Haute-Normandie de feu M. Lamblardie père.

Ce port, au sud de Dieppe, orienté à peu près comme ce dernier relativement aux vents et à la marche des alluvions, présente d'abord une passe Port de Saint Valery en Caux

Figures 542 des planches. d'environ 35 mètres de largeur au minimum comprise entre deux jetées convergentes; celle de l'ouest du côté d'où viennent les alluvions a 370 mètres de long, elle est percée d'une claire-voie de 120 mètres de longueur, avec bassin en arrière de 65 mètres de profondeur, tandis que la jetée de l'est n'a que 175 mètres, et est moins saillante de 180 mètres vers le large. Le chenal à l'amont se raccorde par un pan coupé avec un avant-port, lequel est suivi d'un arrière-port; tous deux à contours très-brisés. L'avant-port a environ 300 mètres de longueur sur 40 mètres de largeur, l'arrière-port a 133 mètres sur 70 mètres. Des épis saillants à l'origine de la passe et sur le mur Est de l'avant-port ont pour objet de guider les chasses d'eau. Sur la rive Est de l'avant-port, et près de la passe, est une cale ou gril de radoub de 30 mètres de profondeur sur 15 mètres de largeur.

Figures 544 des planches.

Enfin, au fond du port, et presque dans le même axe, est l'écluse de chasse d'une grande retenue d'eau de 700 mètres de longueur sur 90 mètres de largeur environ, encaissée dans un vallon. Elle a sauvé ce petit port de l'engorgement par les galets, en fournissant 100,000 mètres cubes d'eau dans la première heure de l'ouverture des portes. On a récemment transformé cette retenue en bassin de flot, en établissant une écluse de navigation de $9^m,15$ de débouché à côté et à l'ouest de l'écluse de chasse.

Port de Fécamp.

Figures 542 des planches.

Ce port, situé au sud du précédent, est le premier au nord du cap d'Antifer, et il est placé comme les précédents, relativement aux vents régnants et aux alluvions.

Son entrée, dirigée à peu près du nord-ouest au sud-est, est formée par deux jetées qui divergent vers le large, et présentent un débouché minimum de 50 mètres. Celle du nord aboutit à l'avant-port par un raccordement presqu'à angle droit; celle du sud est isolée, et se raccorde presqu'à angle droit par un pont de service avec une chaussée frayée sur la crête des dunes de la côte au sud-ouest.

Figures 545 des planches.

L'avant-port, envahi vers l'ouest par les alluvions, ne présente guère aux bâtiments qu'une surface de 330 mètres sur 200 mètres.

En arrière de la rive sud-est de cet avant-port est une vaste retenue d'eau pour chasse, réduite aujourd'hui à 28 hectares environ de surface, établie sur le courant d'eau douce de la rivière de Valmont, et susceptible de fournir 800,000 mètres cubes d'eau dans la première heure de l'ouverture des portes.

Les chasses sont effectuées par deux écluses; l'une placée à peu près

dans l'axe de la passe, l'autre dirigée perpendiculairement aux quais du port, et vers la partie la plus reculée de ce dernier.

Un bassin de flot de 20,200 mètres quarrés de surface a été prélevé récemment sur la zône de la retenue d'eau adjacente à la fois à la ville et au port, et communique avec le port par la deuxième écluse de chasse de 10 metres de largeur, appropriée à cette nouvelle destination.

La jetée du nord de la passe est saillante vers le large, à peu près autant que celle du sud, qui est du côté des alluvions; le coude qu'elle présente à sa rencontre avec l'avant-port forme un véritable écueil pour les navires lorsqu'ils franchissent les passes. Le but probable, mais tout à fait illusoire de ce ressaut, était de rompre la violence des vagues se pressant dans le chenal. Il s'agit aujourd'hui de faire disparaitre ce tracé défectueux en substituant à cet angle rentrant une courbe concave vers la passe, formée par une estacade à claire-voie, établie sur massif de maçonnerie submersible. Ce massif guidera le courant des chasses; la claire-voie diminuera la force des vagues qui iront déferler en arrière sur l'ancienne jetée conservée comme brise-lame.

On sait que le Hâvre, l'un des principaux ports de commerce de France, est à l'angle que forme la rive droite de la Seine avec les côtes de la Manche. En ce point, cette rive est dirigée à peu près est et ouest, tandis que la côte s'allonge presque du sud-ouest au nord-est jusqu'au cap d'Antifer. On sait aussi que le Hâvre est près de l'entrée d'une baie limitée au nord dans la Manche, au cap qu'on vient de nommer, et au sud par le cap de La Hague, qui termine la presqu'île du Cotentin. La corde de cette baie dirigée du nord au sud est d'environ 30 lieues, et la flèche ou le renfoncement est d'environ 12 lieues.

Port du Hâvre-de-Grâce

Figures 542 des planches.

Le port du Hâvre communique avec le large par une passe orientée nord-ouest et sud-est, d'environ 200 mètres de longueur et 79 mètres de largeur, avec alignement brisé, bordée de deux jetées insubmersibles. Celle du nord, vers la côte, à raison des alluvions qui arrivent par là, se prolonge de près de 220 mètres au delà de la tète de la jetée du sud du côté de la Seine. Cette dernière se raccorde avec la célèbre digue d'enceinte qui borde la Seine au nord, et qui en isole une vaste retenue d'eau pour chasses, dite *la Floride*, de 7$^{hect.}$,600 ares de surface, lançant 114,000 mètres cubes d'eau pendant la première heure de l'ouverture des portes.

Figures 546 des planches.

L'écluse de cette retenue, récemment reconstruite, débouche dans la

passe, suivant un angle obtus avec l'axe de celle-ci de l'amont à l'aval. Cette écluse est, du reste, située vers la moitié de la longueur de la jetée de l'est.

En amont de la passe l'on trouve d'abord un avant-port d'environ 350 mètres de long sur 90 mètres de largeur moyenne qui possède un gril de carénage; puis le port proprement dit, quadrilatère irrégulier d'environ 300 mètres de long sur 150 mètres de large. On lui a donné récemment dans le terrain de la Floride, vers la Seine, au nord de la retenue des chasses, une annexe latérale, dite *Port-Neuf*, d'environ 160 mètres sur 230 mètres.

L'avant-port, le port-neuf, en un mot toutes les zônes en amont du chenal qui découvrent aujourd'hui à basse mer, ont une surface totale de 96,000 mètres quarrés et un développement de quais de 1,600 mètres, et peuvent recevoir 200 bâtiments caboteurs.

Le côté nord-est du quadrilatère du port le plus reculé vers l'intérieur de la ville communique par une écluse de $13^{m},65$ de débouché avec un premier bassin du flot dit de *la Barre*, d'environ 49,700 mètres quarrés. Ce bassin, d'abord rectangulaire sur 300 mètres de long et 80 mètres de large, s'évase ensuite en double trapèze, ayant ensemble 150 mètres de hauteur sur 250 mètres de largeur environ à la plus grande base. Le bassin de la Barre, qui a 1,100 mètres de quais accostables, admet 80 navires de 200 à 700 tonneaux rangés sur trois lignes. C'est dans ce bassin que débouche par une écluse de 12 mètres de débouché, le canal de navigation intérieure de Vauban, qui établit la communication entre le Hâvre et Harfleur. Ce canal, sur sa rive sud, présente un bassin d'environ 750 mètres de développement sur 70 mètres de large dans le haut, et 40 mètres dans le bas, avec rives en talus, susceptible d'admettre 60 navires sur une ou deux lignes.

Sur le côté ouest du trapèze qu'on vient d'indiquer, le bassin de *la Barre* communique, moyennant une écluse de $13^{m},65$ de débouché, avec le deuxième grand bassin dit *du Commerce* ou d'*Ingouville*, grand rectangle orienté nord et sud, de 500 mètres de longueur sur 100 mètres de largeur, ayant 55,000 mètres quarrés de surface, et 1,200 mètres de quais accostables. Il peut recevoir sur trois lignes 100 navires de 200 à 700 tonneaux.

Transversalement entre le deuxième bassin et le port d'échouage, est un troisième bassin, dit bassin *du Roi*, le plus ancien de tous, qui peut

communiquer par des écluses avec celui du *Commerce* comme avec le port d'échouage. Sa forme trapézoïdale, de 150 mètres de hauteur environ sur 80 mètres de largeur moyenne, présente 13,000 mètres quarrés, et peut contenir 20 navires de 200 à 700 tonneaux sur une à deux lignes.

Récemment l'écluse d'entrée sud de ce bassin a été approfondie et élargie à 16^m,50 pour le passage des bateaux à vapeur.

Les chantiers de construction sont placés en dehors de la ville sur la plage nord au lieu dit le *Péré*.

Ces ressources ne sont pas encore suffisantes : pour le grand développement qu'a pris le commerce du Havre; pour les éventualités des besoins de la marine militaire en cas de guerre maritime dans l'Océan; et surtout pour la navigation par bateaux à vapeur.

Il est question en ce moment : 1° d'élargir à 100 mètres le bassin de Vauban, de le revêtir de quais, dont les terre-pleins en arrière auraient 33 mètres au lieu de 26 mètres, largeur des terre-pleins des quais des autres bassins; à l'extrémité sud de ce bassin élargi serait une cale de halage de bois du Nord, de 250 mètres de longueur sur 60 mètres de largeur.

2° De détacher de la retenue de *la Floride*, et par un barrage, une enceinte pour les bateaux à vapeur du commerce et de la marine militaire, communiquant avec l'avant-port par une écluse de 21 mètres de débouché, plus profonde de 1 mètre que l'écluse de la Barre.

Les vents régnants au Havre sont compris entre le sud-ouest et le nord-ouest par l'ouest; ils sont d'une grande violence par l'ouest et l'ouest-sud-ouest, et alors les navires ne peuvent sortir du Havre, quoique ces vents soient les plus favorables pour remonter la Seine. C'est aussi sous l'influence des mêmes vents régnants que les alluvions de galets sont les plus abondantes.

On rappelle, au reste, que l'étale de mer haute dure deux heures au Hâvre.

On renvoie, pour plus de détails, aux divers Mémoires de feu M. Lamblardie père, et notamment à ceux sur les côtes de la Haute-Normandie, et sur le canal latéral de la Seine; au Mémoire de M. Lamblardie fils, publié en 1826 à l'occasion du projet de canal maritime de Paris au Havre; au rapport sur ce Mémoire rédigé par M. Girard, membre de l'Académie des sciences; aux diverses publications qui ont été faites au sujet de ce même projet de canal maritime; enfin à l'ouvrage qui va être pu-

blié par M. l'ingénieur en chef Frissart, sous le titre d'*Histoire du Havre*.

Port de Honfleur.

Figures 542 des planches.

Honfleur est situé sur la rive gauche de la Seine, mais plus vers l'amont que le Havre ; les côtes de la mer y font suite aux bords de la Seine, et sont orientées du nord-ouest au sud-est.

Les navires revenant de la mer, dans la baie de Seine, sont obligés, dans les gros temps, de se réfugier au Havre ou à Honfleur; mais Honfleur a l'avantage que les appareillages y sont possibles, quel que soit le vent régnant. D'ailleurs, lorsqu'un navire est à Honfleur, il a moins de temps à parcourir pour franchir dans la Seine en amont et en une seule marée la barre de Quillebœuf. Toutefois, l'entrée du port de Honfleur, ouverte dans la direction du nord au sud, est souvent obstruée par des bancs de vase qui s'élèvent et disparaissent alternativement à la tête des jetées actuelles, et rendent très-difficile l'accès de la passe.

Figures 547 des planches.

Honfleur possède aujourd'hui : 1° un avant-port trop exigu pour les bâtiments qui ne sont qu'en relâche; et, comme il est ouvert en partie aux vents du nord-ouest, l'on a été forcé d'y laisser un massif de vase pour amortir graduellement la vitesse des bâtiments poussés par un vent très-violent dans cet avant-port; 2° une retenue d'eau pour chasse seulement de 95 ares de surface débouchant dans cet avant-port, et ne fournissant que 19,000 mètres cubes d'eau dans la première heure de l'ouverture des portes; 3° deux bassins de flot éclusés, communiquant entre eux, avec la retenue et avec l'avant-port. L'un, le *vieux bassin*, avec écluse d'entrée de 10 mètres de large, a 96 ares de surface et 352 mètres de quais accostables, et présente une cale de carénage; l'autre, le *bassin neuf*, a 1 hect.,13 de surface et 375 mètres de quais accostables. Son écluse d'entrée a 12 mètres de débouché. On s'en sert parfois aussi pour effectuer des chasses à l'aide des guideaux décrits dans la collection lithographique de l'École des ponts et chaussées. Le bassin vieux contient 38,600 mètres cubes d'eau, et le bassin neuf 50,700 mètres cubes.

On projette en ce moment :

1° D'établir un troisième bassin de flot de 70 ares de surface et de 352 mètres de quais accostables dans les fossés de la zône la plus reculée de la ville, servant aujourd'hui de retenue d'eau pour les chasses; de le mettre en communication à l'est avec le bassin existant, dit *bassin neuf*, par une écluse à porte d'Èbe et de flot de 12 mètres de débouché, sauf à employer ce nouveau bassin, comme on le fait déjà avec les bas-

sius existants, à produire des chasses pour nettoyer l'avant-port et le chenal.

2° De prolonger la passe actuelle de 50 mètres de longueur en dehors de l'entrée du port par deux jetées en maçonnerie : la première, celle de l'ouest, de 200 mètres de longueur, prendrait naissance sur la jetée existante de ce côté; elle serait dirigée vers le nord et formerait *épi* d'envasement et de protection de la côte à l'ouest contre les attaques de la mer; la deuxième jetée à l'est, pareille à la précédente, mais plus courte, se raccorderait avec un quai neuf destiné à former l'enceinte d'un nouvel avant-port de 120 mètres de largeur. On espère qu'au moyen de ces jetées, la direction de la passe sera fixée nord-sud, et ne pourra plus être portée vers le nord-est où elle recevait les courants de *verhaule* chargés de vase. Enfin, l'entrée du port de Honfleur ne serait plus exposée qu'aux vents du nord, très-rares dans ces parages, et qui sont arrêtés d'ailleurs par la hauteur des côtes de la Normandie au nord de la Seine.

Ce port de commerce est situé au sud de la baie décrite à l'article port militaire de Cherbourg, et dont le nouvel arsenal occupe la rive ouest. Le célèbre Vauban l'appelait l'*auberge de la Manche*. Port de commerce de Cherbourg.

Le port marchand de Cherbourg présente, dans le même axe et en arrière les uns des autres : 1° un chenal de 480 mètres de longueur sur 50 mètres de large, bordé de deux jetées en maçonnerie insubmersibles. Celle de l'est, du côté d'où viennent les alluvions, s'allonge de 200 mètres de plus que celle de l'ouest, qui vient d'être terminée sur 120 mètres de longueur. Figures 524 des planches.

2° Un port d'échouage d'environ 200 mètres de large, dont la longueur par les travaux en exécution va être portée sur la rive ouest à 360 mètres de longueur. La rive Est forme encore le vieil arsenal de la marine militaire. Figures 548 des planches.

3° Un bassin de flot éclusé avec pont mobile sur l'écluse, de 406 mètres de long et 127 de large, ayant $5^{hect.}$,16 de surface et 812 mètres de quais accostables, le long desquels 24 bâtiments de 200 à 700 tonneaux peuvent débarquer simultanément. Le bassin tout entier admettrait *en relâche* 240 bâtiments de toute grandeur. Son écluse a 13 mètres de débouché et 3^m,90 d'eau sur le radier aux moindres hautes mers de morte eau. Au fond sud du bassin sont deux grandes cales de construction de 41 mètres de largeur chacune, séparées par un môle de 25 mètres de longueur dressé en plan incliné et formant *cale de carénage*.

4° Une retenue pour chasse, très-allongée, d'environ 602 mètres de longueur développée, et de 60 mètres de largeur moyenne, alimentée par le petit cours d'eau douce de la Divette. Cette retenue s'étend parallèlement à l'est du bassin du flot, et débouche dans l'avant-port en convergeant avec l'axe de ce dernier, par un aqueduc en dessous du terre-plein de séparation du bassin de flot et de l'avant-port. Cette retenue a 3^{hect},15 de surface, et peut fournir 66,000 mètres cubes d'eau dans la première heure de l'ouverture des portes, sans le secours de la rivière, et 100,000 mètres cubes avec cette dernière.

On exécute en ce moment au port de Cherbourg l'agrandissement de la partie ouest de l'avant-port. A l'extrémité nord du prolongement sera une cale de construction de 45 mètres de largeur dirigée perpendiculairement à l'axe de l'avant-port. Ce dernier, ainsi que la cale, seront séparés de la rade par un terre-plein de 30 mètres de largeur moyenne soutenu par des quais intérieurs et extérieurs.

Tout ce qu'on a dit, au reste, au sujet de l'arsenal militaire sur les vents régnants et les alluvions, s'applique ici.

Port de Granville.

Figures 549 des planches.

Granville est situé sur la rive ouest de la presqu'île du Cotentin, et sur une côte, où les dénivellations de la marée sont près de leur maximum. Les approches hérissées d'écueils sont surtout dangereuses par les changements rapides, et reversements des courants de flot et de jusant (voir le Mémoire déjà cité de M. Monnier, ingénieur hydrographe).

Granville est d'ailleurs au fond de la vaste baie de 70 lieues de corde et 30 lieues de profondeur, qui se trouve entre les caps saillants des presqu'îles du Cotentin et de Bretagne, baie qui est battue en plein par les vents régnants d'ouest et de sud-ouest.

Figures 550 des planches.

La ville et le port sont sur le revers sud d'une langue de terre étroite, qui fait une saillie de 1300 à 1400 mètres dans la mer.

Le port, qui ne possède point encore de bassin de refuge ou de flot, est situé dans l'angle de cette saillie avec la côte; et, comme elle est orientée est-nord-est et ouest-sud-ouest, le port est abrité naturellement contre les vents du nord-ouest.

Un môle isolé à direction brisée et à chevron, présentant la pointe à l'ouest, avait été établi en 1783 sur 250 mètres de développement, et sur des écueils préexistants. Son objet était d'abriter contre les vents du sud-ouest ou du sud. De plus, une jetée saillante sur le rivage à 320 mètres en arrière du môle, et orientée à peu près nord-ouest et sud-est, devait

concourir avec le môle à diminuer l'agitation de la mer. Mais comme la mer était encore très-mauvaise dans les gros temps, l'on a prolongé récemment le môle isolé jusqu'au rivage, de manière à fermer la passe de l'ouest. Il est question de le prolonger aujourd'hui de 85 mètres vers l'est, afin de mieux abriter le port contre les vents du sud; de plus, les écueils dits les *grandes molières* qui rétrécissent la passe du sud-est, maintenant unique, seront dérasés au-dessous du niveau nécessaire pour le passage des navires à haute-mer de morte eau.

La longueur totale des quais du port, avec 20 mètres de terre-plein en arrière, doit être portée à 564 mètres, dont 234 mètres devaient être complétés immédiatement. Enfin, il est question de la création à Granville d'un bassin de flot.

Les alluvions sont jusqu'ici peu abondantes à Granville, et de nature sablonneuse.

Ports de Saint-Malo et de Saint-Servan.

Figures 549 des planches.

Les ports de Saint-Malo et Saint-Servan, renfermés dans la même baie, sont situés sur la côte nord de la Bretagne, et symétriquement avec Granville, au fond de la vaste baie décrite ci-dessus. Les dénivellations de la marée y sont à leur maximum, et procurent beaucoup d'eau à pleine mer pour l'entrée et la sortie; mais à basse mer, les bâtiments restent aujourd'hui à sec sur un fond de rocher recouvert de sable vasard.

Les vents régnants dans ces parages sont ceux compris entre le sud-ouest et le nord-est, mais particulièrement les vents du nord-ouest qui déterminent une agitation extraordinaire augmentée par des écueils nombreux, et souvent par l'opposition des courants de la marée.

Figures 551 des planches.

Les ports de commerce et villes de Saint-Malo et Saint-Servan occupent les rives nord et sud d'une espèce de grand bassin naturel de 132 hectares de superficie à haute mer. Les eaux de ce bassin ne communiquent avec une rade foraine hérissée d'écueils, que par un débouché d'environ 600 mètres de large, dirigé du nord-ouest au sud-est; mais ce débouché lui-même, parsemé de hauts-fonds et d'écueils, n'offre que des passes étroites et sinueuses de 40 à 50 mètres de largeur.

Les deux ports ne se composaient que de deux avants-ports rétrécis, de quelques quais et chantiers de construction.

Mais la marine militaire possède de plus un grand chantier de construction, dit *le Port Solidor*, sur la rive ouest de l'espèce de langue de terre que forme Saint-Servan. Cette rive est à la fois la rive droite de l'embouchure de la rivière canalisée de la Rance.

Le Port Solidor, qui présente six cales de construction pour frégates et corvettes, et tous les chantiers et magasins qui s'y rattachent, est au fond d'une crique de 180 mètres d'ouverture. Cette crique est calme, parce qu'elle n'est ouverte qu'aux vents du sud-ouest arrêtés dans ces parages par le relief des terrains de la rive gauche de la Rance.

De grands travaux actuellement en exécution, et dont les projets primitivement conçus par Vauban, sont dus à MM. les ingénieurs Robinot et Girard de Caudemberg, vont changer entièrement l'état actuel des ports de commerce de Saint-Malo et Saint-Servan.

Une digue ou plutôt un terre-plein *imperméable et insubmersible*, de 26m,50 de largeur minimum au couronnement, de près de 600 mètres de longueur, est projeté à peu près dans la plus courte distance entre Saint-Servan et Saint-Malo au droit de la passe actuelle de sortie dans la rade foraine. Cette digue sera défendue contre la mer par un brise-lame placé parallèlement au large, et qui formera, dans l'espace qui le séparera de la digue, un avant-port spécial pour Saint-Servan. Le brise-lame aura sa crête à 40 cent. au-dessus du niveau des plus hautes mers; il présentera une banquette de halage de 80 cent., et un musoir à son extrémité nord. Son profil transversal sera un triangle.

A l'extrémité nord de la digue, presque sous les murs de Saint-Malo, sera exécuté un sas éclusé de la plus grande dimension avec portes d'Èbe et de flot à chacune de ses têtes; en sorte que le vaste bassin entre Saint-Malo et Saint-Servan, aujourd'hui couvert et découvert à chaque haute et basse mer, sera transformé en bassin de flot à niveau d'eau permanent, dont la grande surface fournira l'eau nécessaire aux sassements, sans réduction notable dans la profondeur d'eau intérieure.

L'avant-port spécial de Saint-Malo sera en dehors de l'écluse, abrité contre les vents de N.-O., par un môle insubmersible convexe vers le large, de 250 mètres de développement, de 2m,80 d'épaisseur au couronnement, sur les 220 premiers mètres, et de 11m,60 d'épaisseur sur les 30 derniers près du musoir. Ce môle sera établi sur les rochers des *Noires*; sa plate-forme sera mise à l'abri des paquets de lame par un parapet d'au moins 1 mètre de hauteur.

Les alluvions de sable que le calme fera déposer en plus grande abondance qu'auparavant dans les deux nouveaux avant-ports de Saint-Malo et Saint-Servan, et qui dépasseraient ce qui est nécessaire pour l'échouage des navires, seront enlevés par des chasses multipliées qu'on pratiquera

à l'aide de nombreux aqueducs ménagés sous les terre-pleins de la digue, dans les bajoyers de l'écluse, et même sous le môle de l'avant-port de Saint-Malo.

Le niveau permanent des eaux dans le nouveau bassin du flot, sera celui des pleines mers de vive eau moyenne, et le busc de l'écluse à sas sera à 7^m,50 en contrebas. La largeur des écluses au droit des portes a été portée à 17 mèt. pour le passage de vaisseaux de 80 canons et de bateaux à vapeur de grande dimension. Le sas, de 72 mèt. de largeur sur 78 mèt. de long, pourra admettre simultanément cinq frégates et huit à dix navires du commerce de moyenne grandeur. Comme il y aura 5^m,50 d'eau sur le radier de l'écluse dans les moindres hautes mers de morte eau, les navires du commerce pourront à haute marée entrer dans le sas *sans sassements préalables*, et comme dans un port d'échouage.

Sur une des rives du sas sera un gril de visite et de radoub pour grands bâtiments; et même des frégates pourront y être visitées et réparées dans la partie inférieure de leurs œuvres vives. Deux ponts tournants seront établis aux deux têtes de l'écluse, et la manœuvre d'entrée et de sortie des navires dans le bassin de flot sera combinée de manière qu'un de ces ponts tournants reste toujours disponible pour la circulation par terre entre Saint-Malo et Saint-Servan.

En dedans, le long de la digue et sur les rives nord et sud du nouveau bassin, on approfondira le sol de manière qu'il y ait 7^m, 50 de profondeur d'eau sur 750 mèt. environ de développement, et 150 mèt. de largeur moyenne; et 5 ,50 d'eau sur un développement de 2,950 mèt., et une largeur moyenne de 60 mètres. Ainsi la surface totale de la partie du bassin consacrée au stationnement des navires tirant 7^m,50 et 5^m,50 d'eau sera de près de 289,500 mèt. carrés, c'est-à-dire plus que le double de l'ensemble du bassin de flot du Hâvre. De plus une superficie presque égale présentera continuellement, et sans travaux de creusement préalable, une profondeur de 4 à 5 mètres dans le reste de cette immense retenue d'eau.

On renvoie pour plus de détails aux mémoires imprimés et aux débats des chambres législatives en 1833 relativement aux projets qu'on vient d'indiquer.

Ce port est le plus septentrional du Finistère. Il est situé dans une petite baie abrité par l'île de Batz, qui n'en est séparée que par un canal ou passage d'environ 500 mètres de largeur qui forme le port de Roscoff. Port de Roscoff.

Figures 551 des planches

Le fond, en sable vasard, assèche aux basses mers; mais les marées y monteut de 2m,90 dans les mortes eaux, et de 2 mètres dans les vives eaux. Roscoff est abrité contre les vents régnants du sud-ouest au nord en passant par l'ouest par un môle en pierres sèches d'environ 312 mètres de long, dirigé d'abord vers l'est, ensuite infléchi vers le sud-est.

Du côté du large, la première partie au-dessus du môle est établie sur le rocher; la deuxième est défendue par un enrochement.

Comme ce môle ne couvre pas le port contre les vents du N.-E. assez fréquents et violents sur ces côtes, on avait proposé un second môle enraciné dans la rive de l'est de 240 à 250 mètres de long laissant au large du premier une passe de 40 mètres.

Les approches de Roscoff sont embarrassées par un grand nombre de roches dangereuses.

Les vents favorables pour entrer dans le mouillage entre Roscoff et l'île de Batz, sont, par la passe de l'ouest, les vents du sud-ouest au nord; par la passe de l'est, ceux du nord au sud-est.

Les vents favorables à la sortie du même mouillage sont, par la passe de l'ouest, tous les vents de pleine comme de basse mer; par la passe de l'est les vents d'est ou de nord-est.

Les vents favorables pour entrer dans le port proprement dit, sont ceux du sud-ouest au nord par l'ouest, et ceux de la sortie sont compris entre le nord-ouest et le sud en passant par l'est.

Les alluvions sont en sable vasard et peu abondantes.

Port de commerce de Brest.

Figures 527 des planches

Ce port est intercalé entre deux portions du port militaire et ne présente que des quais avec des terre-pleins, escaliers et cales débarcadères. Il n'a point de bassin de flot ni même de chantiers de construction; tout ce qu'on a dit sur le port militaire de Brest s'applique ici.

Il a été souvent question de transférer le port marchand de Brest en dehors et à gauche de l'embouchure de la rivière de Penfeld, à Postrein sous les murs de la ville, en sorte qu'il serait en communication directe avec la rade, mais serait éloigné par cette disposition des magasins actuels du commerce, ce qui nécessiterait des transbordements sur *allèges*.

Port du Conquet.

Figures 526 des planches

Ce port est situé à l'extrémité occidentale de la côte du Finistère, joignant l'entrée de la Manche. C'est une anse ouverte à l'ouest, imparfaitement abritée contre les vents régnants par les îles de Molènes, de Quemener et de Beniquet. Les navires y éprouvent des avaries par le violent ressac que produisent les vents du sud-ouest. Le port, dont le fond est du

sable et du gravier, et qui reçoit peu d'alluvions, assèche aux grandes marées. La marée monte de 2^m,30 dans les mortes eaux, et de 4^m,60 dans les vives eaux. A moins de deux encâblures du port, on trouve un mouillage excellent de 8^m,15 à 7^m,80 de profondeur à basse mer, sur un fond de sable et de vase, protégé par les batteries de la côte.

Les vents favorables pour entrer au Conquet sont ceux du nord au sud par l'ouest, et pour sortir, ceux du nord au sud par l'est.

On avait projeté deux môles parallèles enracinés sur les deux rives opposées de l'anse, et sensiblement perpendiculaires à ces rives; le môle du sud aurait eu 120 mètres, celui du nord, 100 mètres; ils auraient laissé entre eux une passe de 60 mètres.

Port de Camaret.

Figures 5 à 6 des planches

Ce port est situé sur la rive sud de l'entrée du goulet de la rade de Brest. Ouvert au nord, il consiste en un petit golfe ou mouillage d'environ 400 mètres de profondeur et 600 mètres de largeur moyenne, resserré à l'ouverture. La profondeur de ce bassin assèche aux basses mers, et découvre un fond de sable vasard très-ferme. Les marées y montent de 3^m,60 dans les mortes eaux, et de 6^m,60 dans les vives eaux. Le mouillage ordinaire est sur un fond vasard par 5 à 8 mètres d'eau à basse mer. Les vents favorables pour l'entrée du mouillage et du port, sont ceux de l'ouest à l'est par le nord; et ceux favorables à la sortie, de l'est à l'ouest par le sud.

Le port est abrité contre les vents régnants du sud et de l'ouest, par un môle ou digue en maçonnerie, dite *Sillon de Camaret*, de 555 mètres de longueur, 3 mètres de largeur, et 2 mètres de hauteur, établi sur un banc de galets alluvionnaires. Ce môle a aussi pour objet d'arrêter, comme un épi, les galets venant du large.

Port de Douarnenez.

Figures 5 à 6 des planches

Ce port est situé dans la zône sud-est de la vaste baie de Douarnenez, côte sud de la Bretagne. L'île Tristan forme une espèce de môle naturel au large. Ce port est double : la première partie, et qui est la principale, nommée le *Grand port*, se trouve à l'est; l'autre partie, nommée le *port Rhu*, à l'ouest.

Le grand port assèche journellement, et son fond est hérissé de rochers saillants; les marées y montent de près de 5 mètres dans les mortes eaux, et presque de 7 mètres dans les vives eaux. A 200 mètres au large, se présente un mouillage de 5 à 6 mètres sur un fond de sable. Mais ce mouillage n'est pas abrité contre le vent de nord-est. Les vents favorables pour entrer soit au mouillage, soit au port, sont ceux d'ouest et du nord-ouest

jusqu'à N. N. E., et pour sortir, les vents favorables sont ceux de l'est et du sud jusqu'à l'ouest.

Le grand port, sur 100 mètres de largeur, était bordé de deux espèces de môles formant à la fois cales débarcadères. On projetait au nord un môle de 130 mètres de longueur enraciné dans la pointe de *Resmor*. Il devait être fondé dans les zones qui ne découvrent pas à basse mer, à l'aide de caisses en bois à claire-voie échouées jointivement et garnies en fortes palplanches du côté de l'accostage des bâtiments, et remplies par des enrochements.

Port d'Audierne.

Figures 528 des planches.

Ce port gît nord et sud, au fond de la baie d'Audierne, sur la côte sud-ouest de la Bretagne, si fameuse par ses naufrages. Cette baie est ouverte aux vents régnants, ce n'est qu'un golfe aplati, vers lequel les houles du large s'accumulent. Quand la force du vent s'oppose à un grand déploiement de voiles, le dérivage empêche de doubler les caps extrêmes du Bec-du-Raz et de Penmarch; les navires n'ont plus alors qu'à courir vers la côte où ils échouent, et sont bientôt ouverts et démolis par la mer.

Le port d'Audierne est à l'embouchure d'une petite rivière : il assèche le long de ses quais à hautes et basses mers, et ne conserve que 1 à $2^{m},60$ dans le thalweg de la rivière. Les marées y montent de $3^{m},80$ dans les mortes eaux et de 5 mètres dans les vives eaux.

Le fond du port est en sable fin vasard et coquillier. Les vents les plus favorables pour l'entrée sont ceux de l'ouest au sud-est, en passant par le sud; ils sont dominants sur cette côte; ceux pour la sortie sont compris entre le nord et l'est.

Il existe vers le large, en deçà d'un récif existant, un banc très-étendu qui rend difficile les attérages d'Audierne. Ce récif s'étend en longueur sur 1000 mètres de l'est à l'ouest et 500 mètres de largeur; il forme, dans les gros temps et dans les hautes mers, une chaîne de brisants continus. On croit que l'exhaussement de cette espèce de môle naturel submersible assurera le calme dans la rade foraine en arrière.

L'entrée du port était faiblement protégée par un vieux môle d'environ 92 mètres de longueur, qui était devenu impuissant contre les sables poussés par les vents de la côte. Ces matières sont apportées et disséminées avec une telle violence, que l'air est obscurci par les nuages sablonneux qui traversent le bassin du port. La racine du môle était enfouie dans des bancs de sable qui s'avançaient rapidement vers les terrains particuliers très-élevés qui enceignent le port.

On avait proposé de prolonger le môle de 60 mètres et de l'exhausser; les particuliers eux-mêmes cherchaient à se défendre contre l'envahissement des sables par des clôtures de 3 à 4 mètres de haut.

On construit en ce moment un quai de 650 mètres de développement accompagné de six cales.

Le port de Concarneau est sur la côte sud de la Bretagne, au fond d'une baie qui est imparfaitement abritée contre les vents du sud par les iles des Glénans, et à l'embouchure de la rivière du Morot. Le fond du port, qui correspond au thalweg de la rivière, présente à la basse mer un mouillage constant de $4^m,90$ à $6^m,50$ de profondeur. Les marées montent de $3^m,50$ dans les mortes eaux, et de $5^m,50$ dans les vives eaux. Le fond est un sable vasard, herbacé, qui s'étend jusque dans le mouillage extérieur. Les vents favorables à l'entrée du port sont ceux du S. S. E. à l'O. N. O. en passant par le sud; ce sont les vents contraires pour l'entrée au mouillage. Les vents favorables pour sortir du port sont ceux de l'E. au N. N. O. en passant par le nord. Port de Concarneau. Figures 518 des planches.

Le port présente une enceinte curviligne de 300 mètres. On y a reconstruit, et porté à 91 mètres de longueur totale, un môle enraciné dans la pointe de Pendreff existante vers le sud.

On exécute en ce moment à Concarneau une cale de radoub et de carénage et un bassin de flot.

Ce port placé, en quelque sorte, au fond et sur l'une des rives d'une impasse, communique avec la rade intérieure par un chenal sinueux de 500 mètres de long et de 60 mètres de large au plus, dirigé à peu près de l'ouest à l'est. Ce chenal, presqu'à angle droit avec celui du port militaire dans la rivière du Scorff, en est séparé par le massif qui contient l'arsenal et la ville de Lorient. Il débouche dans la rade presque vis-à-vis l'embouchure et le confluent dans cette rade des rivières du Scorff et des Blavet. Port de commerce de Lorient. Figures 528 des planches. Figures 552 des planches.

A l'amont, ce chenal forme un angle très-ouvert avec l'axe du long rectangle de 60 mètres de largeur, qui constitue aujourd'hui le port de commerce. Au fond de ce dernier est une retenue d'eau alimentée par la marée montante, et qui, à marée baissante, fait mouvoir un moulin à blé, et produit une chasse mal dirigée et sinueuse par bricolles, dans le port marchand et dans le chenal.

Les alluvions vaseuses y sont bien plus abondantes encore que dans le port militaire.

D'après un projet qui va être exécuté, le port rectangulaire sera divisé dans sa longueur en deux portions, par un barrage avec écluse, qui transformera la portion du fond de 530 mètres de long et 3[hect.], 7 de surface au bassin de flot, et laissera la portion extérieure au barrage, sur 180 mètres de longueur, aux bâtiments de cabotage et de pêche.

L'écluse de passage avec pont mobile aura 10 mètres de largeur pour le passage de navires de 400 à 500 tonneaux. Le radier de l'écluse et le fond du chenal vont être établis à 5m,57 de profondeur en contre-bas des pleines mers d'équinoxe.

Port du Palais à Belle Isle en mer.

Figures 528 des planches.

Belle-Isle est la première terre que viennent reconnaître les navires de guerre et marchands qui reviennent dans le golfe de Gascogne, et dont la vue leur sert à rectifier les erreurs de leur route antérieure. Les mêmes bâtiments y cherchent souvent un refuge contre les tempêtes du sud-ouest et de l'ouest. C'est de plus une position militaire importante sur la côte du sud de la Bretagne.

Les vents régnants y sont compris entre l'est et l'ouest, et l'agitation de la mer y est alors très-grande.

Le port du Palais est situé sur la côte nord de l'Isle, presque vis-à-vis la pointe de Quiberon et à peu près au milieu de la longueur de l'Isle. Ce port, abrité contre les vents régnants, n'est ouvert qu'à l'est; mais les alluvions vaseuses y sont abondantes.

Figures 553 des planches

Sous l'Empire, on a défendu l'entrée de ce port par deux môles qui laissent entr'eux une passe d'environ 23 mètres. L'avant-port d'échouage de près de 300 mètres de long présente des contours très-irréguliers; sa largeur moyenne est d'environ 70 mètres. En amont est un arrière-port d'environ 250 mètres de longueur sur 40 mètres de largeur moyenne qui présente aussi des contours fort irréguliers; plus loin, et à la suite vers l'intérieur est un deuxième arrière-port, dit *la Saline*, séparé du précédent par un goulet dit *pertuis*, d'environ 15 mètres de largeur. *La Saline* a sur 360 mètres de longueur, une largeur moyenne de 50 mètres. Enfin, tout à fait au fond est l'*ancienne saline*, desséchée dès 1827, et qui a 150 mètres de profondeur sur 50 mètres de largeur moyenne.

Il est question aujourd'hui : 1° de creuser par tout le port, l'arrière-port et *la Saline* à 3 mètres en contrebas des pleines mers de morte eau; de transformer l'arrière-port et la Saline en bassins de flot avec écluse de 10m,60 de largeur; et d'établir dans l'ancienne Saline une grande cale ou gril de carénage avec radier en pente ascendante; 2° d'essayer de dimi-

nuer l'agitation de la mer lors des vents d'est, par un brise-lame extérieur formant jetée transversale.

Le port du Croisic est situé sur la côte de Bretagne, entre les embouchures de la Vilaine et de la Loire, et forme le principal lieu d'exportation des sels du pays. C'est d'ailleurs le seul port de relâche pour des navires de 200 à 300 tonneaux sur une côte violemment battue par les vents d'ouest, de sud-ouest et même de nord-ouest, et qui n'est éclairée que par le phare du Four établi il y a une vingtaine d'années. Port du Croisic. Figures 528 des planches.

La direction du chenal d'entrée est à peu près de l'est à l'ouest, et elle est bordée de rochers qui ne permettent pas aux bâtiments de louvoyer. Les sables entraînés par les vents et les courants de flot, produisent des atterrissements que le jusant ne peut enlever. En arrière du chenal, le port est divisé en trois enceintes d'eau parementées en pierre de taille et séparées par des îlots connus sous le nom de *jonchères*.

La surface des deux premières enceintes est de $2^{hect.}$,50 ares, et peut admettre deux cents navires du tonnage indiqué ci-dessus. La troisième enceinte, affectée spécialement aux *bâtiments à sel* et aux chaloupes de pêche, a une surface de $1^{hect.}$,65 ares. Le développement total des quais accostables est de 2800 mètres.

Il existe *neuf* cales de construction dans la première enceinte d'eau, trois dans la seconde.

Il était question, à l'aide de crédits spéciaux demandés aux pouvoirs législatifs :

1° De construire sur les rochers qui bordent le chenal une jetée en maçonnerie de 3 mètres d'épaisseur au couronnement, et dont le dessus serait à 2 mètres au-dessus du niveau des hautes mers d'équinoxe. Les parois ascendantes de la jetée seraient presque verticales.

2° De transformer en bassin de flot les trois enceintes d'eau, en barrant deux d'entre elles et les mettant en communication avec la troisième, qui serait munie d'une écluse avec pont tournant, et avec débouché de 16 mètres pour les bateaux à vapeur de l'État. Le plat-fond de la retenue serait au même niveau que le fond de la passe d'entrée.

Saint-Gilles est situé au fond du golfe de Gascogne, au sud de l'île de Noirmoutiers, sur la côte comprise entre l'embouchure de la Loire et la rade foraine formée par les îles de Ré et d'Oléron, dont il a été question à propos du port militaire de Rochefort. Saint-Gilles est presque vis-à-vis l'île d'Yeu. Le port est placé sur la rivière de *Vie*, dont l'embouchure Port de Saint-Gilles sur les côtes de la Vendée. Figures 530 des planches.

Figures 554 des planches.

est dirigée sud-ouest et nord-est. Il est susceptible de recevoir des bâtiments de $2^m,60$ de tirant d'eau, et sert de refuge à ceux qui sont affalés sur les côtes de la Vendée par les vents régnants, compris entre le sud et le nord-ouest.

Le chenal d'accès du port est bordé du côté du nord d'un relief de terrain qui s'avance dans la mer en formant jetée; du côté du sud par une dune de sable, nommée la *Garenne*, qui est séparée de la rive nord par un intervalle de plus de 180 mètres. Deux jetées ou épis saillants sur la rive nord en arrière l'un de l'autre, à 260 mètres d'intervalle, dénommés, celui vers le large, le *grand môle*; celui vers l'intérieur, le *petit môle*, ont l'un 108 mètres et l'autre 70 mètres de longueur.

Ce port est obstrué par les sables enlevés aux dunes qui couvrent Saint-Gilles du côté de la mer.

La tête de la dune saillante de sable, dite *pointe de la Garenne*, qui borde le chenal, a été détruite en 1833 par les tempêtes, et les bancs de sable menaçaient de barrer l'entrée du port de Saint-Gilles, et de refouler la rivière de Vie sur les terrains en amont. On exécute une jetée définitive, enracinée dans la partie subsistante de la dune de sable saillante mentionnée ci-dessus, et s'avançant au large sur un développement qui devait être d'abord de 440 mètres jusqu'à la laisse des basses mers de vive eau, et qui a été réduit à 160 mètres. Les projets conçus pour le port de Saint-Gilles ont été l'objet d'un examen approfondi par M. Lamblardie fils, inspecteur général des ponts et chaussées et des travaux maritimes; et les résultats susceptibles d'une application générale appellent la publication des mémoires rédigés à ce sujet par cet ingénieur expérimenté.

Port des Sables-d'Olonne.

Figures 530 des planches.

Ce port est placé au sud du précédent au fond d'une crique, et sur une côte sujette aux mêmes vents régnants et à la même marche d'alluvions sablonneuses que celles des atterrages de Saint-Gilles. Il présente une surface de 6 hectares, et peut recevoir 250 bâtiments. Le développement des quais accostables est de 1400 mètres.

Figures 555 des planches.

La ville des Sables-d'Olonne est bâtie sur une langue de terre fort étroite, dont une des rives est tournée vers le large; l'autre tournée vers l'intérieur forme le port de commerce. Ce dernier communique avec la crique extérieure, par une passe orientée nord et sud d'environ 650 mètres de longueur, et d'une largeur minimum de 70 mètres, évasée en entonnoir de manière à avoir 230 mètres aux têtes vers le large.

Cette passe longe à l'ouest un coteau, dont le pied forme sa rive ouest; cette rive est soutenue par des murs. De plus, à la pointe du fort Saint-Nicolas et à l'ouest, est une jetée insubmersible de 200 mètres de longueur, saillante vers le large, qui fait suite au coteau, et qui s'avance dans la mer de 200 mètres de plus que la jetée de l'est. Cette dernière est aussi insubmersible, et a été exécutée en maçonnerie sur 725 mètres de longueur, il y a plus de quarante ans, par M. l'Ingénieur Lamandé père. Elle a pour objet d'empêcher les vagues dans les gros temps, et les courants de flot d'enlever le sable de la crique, et de le porter dans la passe. Les Mémoires rédigés sur le port de Saint-Gilles, et mentionnés à propos de ce port, donnent aussi beaucoup de détails sur l'efficacité des ouvrages exécutés à l'entrée du port des Sables-d'Olonne.

La ville et le port de La Rochelle, célèbres par le siége qu'ils soutinrent sous Louis XIII, sont au fond de la même baie où est Rochefort, et en arrière des îles de Ré et d'Oléron, déjà mentionnées plus haut. Mais La Rochelle est à l'extrémité nord de la côte Est de cette baie, et dans un renfoncement de cette côte, presque vis-à-vis la pointe de l'île de Ré. Port de commerce de la Rochelle. Figures 530 des planches.

On voit que la position de La Rochelle la préserve de l'agitation de la mer de tous les vents, depuis le nord-ouest jusqu'au sud en passant par l'ouest. L'entrée du port de La Rochelle est dirigée à peu près du ouest-sud-ouest à l'est-nord-est.

En venant du large, on rencontre, en avant de La Rochelle, une espèce d'anse de 1,440 mètres d'ouverture, et de 1,200 mètres de profondeur, à l'ouverture de laquelle était la célèbre digue de Richelieu, dont il ne reste plus que les fondations qui découvrent à basse mer. Les têtes de ces débris de môles laissent au milieu une passe aujourd'hui de 100 mètres d'ouverture. Sur la partie sud de la digue, on a bâti un môle de 270 mètres de long, enraciné à la pointe du rivage appelée *des Minimes*, afin de couvrir les bâtiments en quarantaine. On avait le projet de prolonger le môle, et d'en élever un pareil de l'autre côté de l'anse, également sur les fondations de l'ancienne digue, et de manière à transformer cette anse en avant-port. Figures 556 des planches.

A travers cette anse, du sud-ouest vers le nord-est, se dirige un long chenal de près de 1,700 mètres de développement et de 30 mètres de largeur moyenne, qui s'étend jusqu'à l'entrée du *havre d'échouage*. Ce chenal est creusé dans un sol vaseux sur une profondeur de $1^m,50$ à 2 mètres en contre-bas des rives, et tend à se combler chaque année par les dépôts vaseux.

A la distance d'environ 1,100 mètres à l'Est de la digue de Richelieu et dans l'intérieur de l'anse, le chenal susdit prenant le nom d'*avant-port*, commence à être bordé au sud d'une jetée de 662 mètres de longueur, destinée à couvrir le port et à faciliter le halage. Cette jetée et le terre-plein en arrière au sud forment une saillie trapézoïdale.

Sur la rive nord de l'avant-port, dans sa partie la plus reculée vers la ville, est un chantier de construction, qui a 350 mètres de longueur parallèlement au chenal, avec trois cales de construction en charpente. Ce chantier, à son extrémité ouest, est défendu contre la mer par une digue d'enceinte de 157 mètres de longueur.

L'avant-port et le havre d'échouage communiquent entre eux par une passe de 27 mètres, dite *Saint-Nicolas*, qu'on pouvait fermer par des chaînes.

Le *havre* est un grand quadrilatère d'environ 300 mètres de longueur sur 120 mètres de largeur moyenne. Il présente en rampes et quais accostables un développement de 720 mètres.

Sur la rive sud-est du *havre* est le bassin de flot éclusé à peu près quarré sur 120 mètres de côté, de $1^{hect.},44$ de surface d'eau, ayant 308 mètres de quais de déchargement et 138 mètres de quais de carénage. Il peut recevoir une trentaine de navires *bord à quai*, depuis 25 jusqu'à 300 tonneaux. Ce nombre peut s'élever à quarante-deux en plaçant les navires sur deux rangs.

La quantité considérable des dépôts annuels qui se forment dans le chenal, l'avant-port et dans le havre d'échouage de la Rochelle, avait fait établir dès longtemps des manœuvres d'eau de chasses.

Dans l'angle nord-est du havre d'échouage est l'écluse de chasse dite du *Pont neuf*, au débouché du canal *Maubec*. Ce canal reçoit les eaux des canaux de Niort et celles des fossés Est et Sud des fortifications. La surface totale de cette première retenue est de 13 hectares, et le volume d'eau qu'elle contient n'est pas de plus de 180,000 mètres cubes dans les marées ordinaires. A cette ressource principale se joignent :

1° Le produit éventuel des deux ventelles des portes du bassin de flot; 2° dix pertuis ou aqueducs de chasse établis à travers les quais, et à travers la partie nord du havre d'échouage, et qui puisent leurs eaux dans les fossés nord des fortifications; 3° une deuxième écluse de chasse débouchant dans le chenal d'entrée, à l'extrémité *nord-ouest* de l'avant-port, et y amenant les eaux des fossés *ouest* des fortifications.

L'insuffisance de ces moyens a forcé de recourir aux draguages à main et par machines flottantes.

Il est question en ce moment, pour améliorer les retenues actuelles, d'élargir et d'approfondir le canal *Maubec* et tous ses affluents, de manière à porter le volume d'eau retenu à 525,000 mètres cubes sur une profondeur moyenne de $3^{m},25$. On utiliserait en même temps ce canal comme bassin de réunion de la navigation maritime et de la navigation fluviale, en substituant à l'écluse de chasse actuelle du *Port neuf* une écluse de navigation à portes d'Ebe et de flot, et en faisant passer l'*eau des chasses* par des pertuis latéraux ménagés dans l'épaisseur des bajoyers.

On se propose, de plus, d'établir une nouvelle retenue d'eau, avec écluse de chasse, dans la partie Sud de l'avant-port, de manière que les chasses se dirigent vers le chenal sous un angle obtus d'environ 155 degrés. Le nouveau réservoir, conquis sur la plage même, soutenu par des digues et terre-pleins d'enceinte, communiquera avec les fossés des fortifications, et servira aussi de bassin de flot par l'accolement à l'écluse de chasse d'une écluse de navigation qui donnera accès aux navires.

Ce port, précédé d'une rade excellente, se trouve sur la côte nord de l'ile de Ré. Port de Saint-Martin dans l'île de Re.

La sortie par les vents d'Est y est très-difficile, et les vents d'ouest occasionnent un ressac violent. Figures 530 des planches.

L'entrée du port est comprise entre les deux demi-bastions d'un ouvrage à cornes défensif; elle est couverte par un éperon ou contre-garde défensif détaché qui forme ainsi un môle isolé avec deux passes. Celle de l'Est est seule praticable; le fond de celle de l'ouest s'est exhaussé par les atterrissements.

Le port, de forme irrégulière, est entouré de quais d'un développement de 560 mètres, ayant onze rampes de déchargement.

On transforme en ce moment en bassin de flot de $1^{hect.},56$ de surface et en retenue de chasse, un marais d'alimentation d'un moulin. L'écluse d'entrée aura 10 mètres de débouché.

Ce port est situé dans le pertuis d'Antioche, et a son ouverture sur la côte nord-est de l'île. Port de Saint Denis dans l'Ile d'Oléron

Son emplacement est au milieu de bancs de rochers. Il s'y trouve naturellement deux passes, dont la principale est celle du nord. Figures 530 des planches.

Une jetée en pierres sèches de 232 mètres de longueur garantit le port contre les tempêtes depuis le nord-ouest jusqu'au nord-est. Elle est in-

terrompue aux trois quarts de sa longueur par la passe *principale nord*, de 7 mètres de débouché. On a laissé à l'enracinement de cette jetée dans la falaise une autre passe de 75 mètres pour l'écoulement des sables qui, sur cette côte, cheminent du nord au sud.

Le port est encombré par les sables. On avait pensé en diminuer les dépôts en élargissant la passe de 75 mètres ci-dessus mentionnée; mais cette opération, tentée en 1834, n'a eu aucun succès.

On s'occupe dans ce moment de prolonger au contraire vers la falaise la jetée indiquée plus haut, et de l'exhausser au-dessus des plus hautes mers.

Port du Château dans l'île d'Oléron.

Figures 530 des planches

Ce port est situé dans le détroit dit les *Courreaux d'Oléron*, et sert de principal débouché aux nombreux marais salants de l'île d'Oléron.

Son emplacement est au pied des ouvrages qui couvrent le front de la citadelle, et le port sert de fossé à cet ouvrage. Son entrée, comprise entre deux éperons de maçonnerie, n'a que 8 mètres de débouché. Elle est abritée par deux môles ou jetées; l'une, dite la jetée du nord, a 80 mètres de longueur, l'autre, dite contre-jetée du sud, s'exécute avec les produits des délestages, et aura 100 mètres quand elle sera terminée.

L'intérieur du port n'a que 120 mètres courants de quais, et ne peut suffire qu'à l'embarquement et au déchargement simultané de 8 bâtiments de diverses grandeurs. Mais il en admet un plus grand nombre pour relâche et stationnement en cas de mauvais temps.

Le port est précédé d'une grande plage vaseuse, d'une pente très-faible, qui, dans les hautes mers ordinaires, n'a que 2^{m},50 d'eau.

On projette d'établir une écluse de chasse de 4 mètres de débouché, sur le radier de laquelle l'eau montera de 4^{m},50 dans les grandes marées, et en arrière de laquelle sera un réservoir de 100,000 mètres cubes d'eau.

Ports de Saint-Jean de-Luz et de Soccoa.

Figures 557 des planches

Figures 558 des planches

La baie de Saint-Jean-de-Luz, qui renferme à la fois le port et la ville de ce nom et le port de Soccoa, est à l'angle de la côte du golfe de Gascogne, qui court du nord-ouest au sud-est, et de celle qui se dirige du nord-ouest au sud-ouest. M. de Prony a fait remarquer, que si, à partir de Bayonne et de Saint-Jean-de-Luz, on trace sur le globe un arc de grand cercle qui aboutisse à la côte de Terre-Neuve, dans l'Amérique du Nord, on ne rencontre pas dans toute cette étendue une seule proéminence au-dessus de la surface de l'eau. La longueur de cette zone fluide continue, dirigée du nord-ouest au sud-est dans le sens des vents régnants, n'est pas moindre de 444 myriamètres. MM. de Prony, Duleau, et plu-

sieurs autres Ingénieurs, ont attribué à cette circonstance remarquable la violence de la marée à Saint-Jean-de-Luz, et sa tendance continuelle à corroder une plage qui n'offre point d'ailleurs une grande résistance. En effet, la ville de Saint-Jean-de-Luz est au fond d'une crique sablonneuse ayant près de 1000 mètres de largeur à l'entrée, et un renfoncement presque équivalent; la rivière de Nivelle, qui débouche dans la crique par un chenal d'environ 25 mètres de large, forme le port.

On peut voir, dans l'ouvrage sur les ondes de Bremontier, et dans un article de feu M. Duleau, Ingénieur en chef, rédigé au sujet du nouveau système d'ouvrages à la mer de M. le colonel Emy, et inséré aux *Annales des ponts et chaussées* de 1832, l'historique des ravages causés par les tempêtes, de la marche alternative des alluvions de sable et de galets, des moyens essayés pour diminuer l'agitation et les empiétements de la mer dans la rade de Saint-Jean-de-Luz. On fera bien de lire aussi un article sur la même baie, publié par M. Mounier, Ingénieur hydrographe, dans les *Annales maritimes et coloniales de* 1837.

On a remplacé dans ces dernières années avec succès la digue de garantie de la rive de Saint-Jean-de-Luz par une grève artificielle en sable de 600 mètres de longueur sur $6^m,50$ de hauteur au-dessus des pleines mers de vives eaux. Figures 558 des planches.

Le petit port de *Soccoa* est placé près de l'entrée et à l'ouest de la rade de Saint-Jean-de-Luz, dans une espèce de renfoncement, dont l'ouverture étant tournée vers le fond de la rade, est moins agitée que le reste de cette rade. Cette ouverture est comprise entre deux môles dont les directions sont perpendiculaires entr'elles. Le môle, orienté nord-ouest et sud-est, dit *jetée du Nord*, de 130 mètres de longueur, dépasse l'alignement de celui qui, sur 290 mètres de longueur, est orienté du sud-ouest au nord-est, et qui est dit *jetée du Sud*. Pour amortir encore davantage l'action des vagues, l'on a dirigé, en dedans du port, sur 50 mètres de longueur, un troisième môle également orienté nord-ouest et sud-est, mais plus court que son parallèle extérieur; de manière qu'il y ait entre eux une espèce d'avant-port de 140 mètres. Le port, de forme irrégulière, présente une surface d'environ 1500 mètres quarrés. Port de Soccoa.

Principaux ports de commerce français dans la Méditerranée non sujets aux marées.

Port-Vendres dans le Roussillon

Figures 559 des planches

Figures 560 des planches

Port-Vendres est sur le côté ouest du golfe de Lyon, presqu'à l'entrée de ce golfe en venant de la Catalogne, au fond d'une baie limitée au nord par le cap de Collioure, et au sud par le cap de Creux. Ce dernier cap sépare cette baie du golfe de Roses en Espagne. L'entrée de Port-Vendres est dirigée du sud ouest au nord-est; elle présente un rocher isolé qui la divise en deux passes, auquel on a attribué le fait remarquable que ce port n'était point ensablé. Mercadier, dans son Mémoire sur les ensablements, pag. 241, 243, donne une autre explication. Selon lui, le cap de Collioure éloigne le courant littoral de la baie de Port-Vendres; ce courant, refoulé par la saillie très-prononcée du cap de Creux, donnerait lieu à un contre-courant du sud au nord, qui entraînerait les sables et les repousserait dans le courant principal. Cette explication paraît peu satisfaisante; car, dans l'Océan les renfoncements des côtes, les contre-courants, donnent plutôt lieu à des dépôts d'alluvions qu'à des approfondissements littoraux. Il est probable que le fait en question provient de l'exposition des côtes environnantes par rapport aux vents régnants, de la nature de ces côtes, et de la direction dans laquelle les vagues arrivent et se réfléchissent sur le littoral.

Quoi qu'il en soit, Port-Vendres, dont le bassin est formé par la nature, est abrité contre les vents régnants et toujours accessible à des bâtiments de commerce du premier rang. La tenue y est excellente, et il est difficile que des escadres ennemies le bloquent sans courir le risque d'être entraînées et perdues corps et biens dans le golfe de Lyon.

La conquête d'Alger, et le minimum de distance par mer qui se trouve entre Port-Vendres et les possessions françaises d'Afrique, ont donné une grande importance à ce port, que le célèbre Vauban avait signalé pour la création d'un arsenal militaire.

Le port proprement dit a une surface de 9$^{hect.}$,50, et un développement de 550 mètres de quais, dont 250 mètres seulement sont accostables par les navires. Cent navires pourraient au besoin y mouiller.

On projette en ce moment d'approfondir le port et de creuser sur la rive ouest le bassin projeté dès 1752, qui aura 340 mètres de long, 15 mèt. de large à l'entrée, et 126 mètres de longueur au fond, et dont la profon-

deur variera de 4 à 9 mètres. Cette profondeur sera moindre sur les bords que dans la partie centrale réservée aux bâtiments de guerre. La surface totale du bassin sera de 4^hect.,10; elle présentera 600 mètres de développement de quais, et pourra contenir cinquante navires d'un tonnage moyen. Sur les rives du bassin, sera un emplacement pour trois cales de construction et pour cinq grils de carénage.

Ce port de commerce, si important par ses communications avec l'étang de Thau et autres environnants, et avec le canal de Languedoc, à raison du commerce d'exportation des vins et eaux-de-vie du Midi, est situé au fond du golfe de Lyon sur une côte orientée du nord-est au sud-ouest. Ses parages sont exposés aux vents compris depuis l'Est jusqu'à l'ouest en passant par le sud. Port de Cette. Figures 561 des planches

Le port de Cette date de 1665, et a eu Vauban pour fondateur. Dès sa création, on l'abrita :

1° Contre les vents du sud par le môle Saint-Louis, enraciné dans la côte, et dirigé Est-ouest sur environ 624 mètres de développement;

2° Contre les ensablements et les vents d'Est, par la jetée de Frontignan.

Une jetée intérieure dite 4 *et* 5, transformée plus tard en môle dit du nord-ouest, de 550 mètres de longueur, fut construite plus tard pour préserver contre les vents du sud, un renfoncement de la plage nord de l'avant-port.

L'Ingénieur Niquet remarquant en 1700 qu'à la tête des jetées, il y avait toujours beaucoup de profondeur d'eau, et que les ensablements dans l'intérieur du port s'étendaient jusqu'au milieu de l'énorme passe entre le môle Saint-Louis et la jetée de Frontignan, fit exécuter un môle isolé dit *de l'est* d'environ 200 mètres de longueur; ce môle laissait entre ses extrémités et celles des deux jetées saillantes enracinées dans les rives, deux passes, l'une orientée du nord au sud, et l'autre de l'est-nord-est à l'ouest-sud-ouest. Figures 562 des planches

Le premier effet de cet ouvrage fut de rendre aux passes toute leur profondeur; mais ce fut aux dépens de la sécurité de la navigation. Plus tard, l'abandon des moyens journaliers de curage pendant la Révolution française fut désastreux.

Les ensablements menaçant toujours d'engorger l'intérieur du port de Cette, l'on crut y remédier; en fermant, de 1807 à 1814, la passe ouverte aux vents de nord-est; en reliant, à cet effet, le môle isolé avec la jetée de l'Est dite de *Frontignan*; enfin en prolongeant ce môle isolé vers le sud, de manière à donner 700 mèt. de développement à l'ensemble de l'ouvrage.

Bientôt l'expérience prouva que les ensablements, loin de diminuer, n'avaient fait que se déplacer et se porter de l'intérieur du port vers la passe unique de 260 mètres de largeur qu'on avait conservée au sud. L'on établit alors de 1820 à 1830, en avant de cette dernière, un brise-lame ou môle isolé convexe vers le large, d'environ 500 mètres de longueur, lequel a formé deux nouvelles passes; l'une au nord-est et de 200 mètres de largeur, l'autre à l'ouest, de 300 mètres.

On attendait de bons effets de cette disposition, empruntée probablement au port de Civita-Vecchia, situé sur la rive italienne de la Méditerranée opposée à Cette. Mais l'on a été déçu dans cette prévision; et des bancs de sable se sont formés dans les passes en dedans du nouveau môle, par suite du calme qu'il déterminait. Une commission spéciale, formée en 1833, a déclaré sur le rapport de M. l'ingénieur en chef Bernard, aujourd'hui directeur des travaux maritimes à Toulon :

1° Qu'un premier curage effectué rapidement sur une grande échelle avec des appareils mus par la vapeur, suivi d'un entretien permanent qui serait opéré avec une partie de ces appareils, était un moyen indispensable pour conserver le port de Cette au commerce, et de remédier à une importation annuelle de sables évaluée à 70,000 mètres cubes par an.

2° Qu'il fallait rouvrir le pertuis primitif de 105 mètres qui existait autrefois entre la jetée de Frontignan et le môle isolé de l'Ingénieur Niquet, et rendre ainsi aux sables qui viennent principalement par le nord-Est leur passage dans la zône nord du port. Cette zône leur serait définitivement délaissée, sauf les dragages annuels, et sauf une jetée qui isolerait la même zône du reste du port.

3° Qu'il fallait exécuter un canal direct de communication entre cette zône nord et l'étang de Thau, pour y avoir surtout dans les gros temps, un plus *fort appel d'eau et de sables,* et diminuer ainsi la quantité de sables qui se dirigerait vers le nouveau môle isolé, et vers ses deux passes.

4° Qu'il fallait intercepter par le même motif que ci-dessus la communication du fond du port de Cette avec l'étang de Thau, et avec le canal de la Peyrade, à l'aide d'écluses à sas dont les portes seraient busquées du côté de la mer.

On avait même proposé antérieurement de tronçonner par des coupures que les tempêtes eussent agrandies, le nouveau môle exécuté de 1820 à 1830, en lui appliquant ainsi le système de l'Ingénieur italien Fazio, dont il sera question plus loin.

Mercadier, dans les chapitres 9, 10 et 12 de l'ouvrage déjà cité, attribuait les ensablements du port de Cette

1° A l'action des tempêtes sur les sables de la plage intercalaire entre Cette et l'embouchure du Rhône. Ces sables ainsi mis en suspension sont charriés, selon lui, par le courant littoral accéléré par le vent régnant du sud-est (*scirocco*), puis déposés par le courant partout où il y a ralentissement de vitesse, soit par cessation de vent forcé, soit par des renfoncements de la côte et par des zônes d'eau stagnantes;

2° A l'action du vent d'Est sur les sables des dunes qui sont au levant de Cette.

Dans les chapitres 11 et 12, Mercadier assimilait par erreur les courants de jusant dans la Méditerranée, lesquels sont insignifiants pour des dénivellations de marées de 40 à 50^c, avec les courants produits par le jusant dans l'Océan, et même avec ceux des écluses de chasse dans les ports de l'Océan. Il proposait en conséquence de faire arriver le flot de la mer dans l'étang de Thau, et de le faire ressortir par le port de Cette, ou bien de dériver une partie de la rivière de l'Hérault dans l'étang de Thau.

Les *Annales maritimes et coloniales* d'avril 1839 renferment un Mémoire fort intéressant sur la cause des ensablements du port de Cette, publié par M. l'Ingénieur-hydrographe Le Bourguignon-Duperré.

L'avant-port de Cette, orienté du nord-est au sud-ouest, a 600 mètres de longueur et une largeur irrégulière mais moyenne de 200 mètres. Il se raccorde presqu'à angle droit avec le port proprement dit, qui a 550 mèt. de longueur environ, et une largeur moyenne de 80 mètres. Le développement des quais accostables est de 830 mètres, depuis le môle Saint-Louis jusqu'au pont en charpente, et de 520 mètres sur la rive neuve du sud. Ce port, en se prolongeant dans l'intérieur des terres, s'embranche par un canal avec l'étang de Thau, et presque à angle droit avec le canal de la Peyrade.

On projette en ce moment l'exécution des travaux suivants au port de Cette:

1° Curage extraordinaire, à l'aide de dragues à vapeur, et d'un bateau à vapeur remorqueur pour les embarcations destinées aux transports et versements des produits du curage;

2° Établissement de deux barrages éclusés à trois passages, l'un sur le canal de Cette, à l'étang de Thau, l'autre sur le canal de la Peyrade;

3° Achèvement du brise-lame; Construction le long de l'avant-port d'un

quai de soutènement de la jetée de Frontignan, et de ses prolongements au sud; Établissement sur le sommet de cette jetée d'un chemin couvert en maçonnerie pour la rendre praticable dans les gros temps;

4° Construction aux deux extrémités du brise-lame, à la tête de la jetée de Frontignan, et en avant du môle Saint-Louis, de musoirs en maçonnerie de béton à *parement vertical*, s'élevant de fond au pied des enrochements, desquels on attend, outre la consolidation des ouvrages en arrière et la délimitation des passes, un *effet de ressac assez fort pour diminuer* les ensablements dans les passes.

5° Agrandissement de la surface d'eau par le creusement et le revêtissage avec quais en maçonnerie, d'une darse au nord et en arrière de la jetée intérieure dite 4 et 5. L'on ouvrirait à travers cette jetée deux passes de communication avec l'avant-port. Ce bassin serait prolongé en canal jusqu'à la darse de la Peyrade qui elle-même serait approfondie, en sorte que les navires pourraient le traverser pour se rendre du nouveau bassin dans l'ancien port.

Port de Marseille. Figures 563 des planches. Figures 564 des planches.

Ce port de commerce, devenu le plus important de la France, est situé sur la côte Est du golfe de Lyon, et à peu près au tiers de la longueur de cette côte en partant de l'entrée. Les parages d'alentour sont ouverts aux vents compris entre l'est et le sud-ouest par le sud. La rade et l'avant-port de Marseille sont sur le côté d'une crique ouverte aux vents du sud-ouest. L'entrée de l'avant-port, qui n'est bordée d'aucune jetée, est dirigée du nord-est au sud ouest, et se trouve ainsi à l'abri des vents marins régnants dans la Méditerranée. Mais elle est précisément dans la direction du *mistral* (vent du nord-est); en sorte que ce vent favorable hors la passe, pour la plupart des destinations des bâtiments de la Méditerranée, est un obstacle à l'appareillage.

L'avant-port communique avec le port proprement dit par un goulet de 80 mètres de débouché, au milieu duquel se trouve un pilier d'amarre pour chaînes de fermeture.

Le port actuel est un grand bassin parfaitement abrité, de 950 mètres de longueur sur environ 300 mètres de largeur, et de 27 hectares de surface; il est affecté principalement aux chargements et déchargements des navires, pour lesquels il y a 1785 mètres de développement de quais, non compris 790 mètres de développement des quais du canal d'entrée. Neuf cents navires peuvent se trouver simultanément à Marseille.

Dans l'ancien emplacement de la *darse* des galères du roi, est un canal

à trois *branches* dit *canal de la douane* qui sur 500 mètres de développement n'a que 13 et 14 mètres de largeur et 2 mètres de profondeur d'eau.

Le stationnement des bâtiments en quarantaine se fait dans la grande rade près des iles de Pomègue et Ratonneau, réunies sous la restauration par une digue de 350 mètres de longueur. Cette rade, pourvue de 1150 mètres de développement de quais, présente 12 mètres de profondeur d'eau, et peut admettre jusqu'à 200 navires de toute grandeur. Figures 500 des planches.

L'insuffisance du port actuel de Marseille, pour les développements immenses de son commerce extérieur, a fait naître récemment une foule de projets actuellement en examen pour l'établissement de nouveaux bassins entourés de magasins, d'entrepôts de douanes, etc.

Aujourd'hui une partie des quais est occupée par des chantiers de construction, des dépôts de bois flottants, des navires désarmés; et l'on est forcé d'effectuer des transbordements onéreux à l'aide d'alléges dits *chattes* ou *accons*, et dont le grand nombre est une nouvelle cause d'encombrement.

L'administration se propose d'abord : de recreuser jusqu'à 6 mètres en contre-bas du niveau le plus bas de la mer le bassin existant sur toute son étendue; de rendre abordable tout son pourtour; d'élargir les terres-pleins des quais, et par-là de réduire les plus values considérables de suréstaries et de transbordements sur des alléges, qui résultent de l'impossibilité où se trouvent aujourd'hui une foule de navires d'accoster aux quais.

En attendant, on exécute un bassin spécial de carénage dont la passe d'entrée aura $16^{m},50$ de largeur. Ce bassin présentera une surface de $1^{hect},50$, et un développement de quais de 450 mètres.

On trouve la description des projets d'agrandissement du port de Marseille dans les mémoires imprimés de diverses compagnies.

Ceux des deux compagnies Flachat et Zola, qui paraissent avoir le plus de chances de succès, consisteraient : à établir de nouveaux bassins latéralement et au sud du bassin existant; et à les mettre en communication, d'une part avec ce dernier, d'autre part avec la mer, par un grand canal d'environ 2,000 mètres de longueur et 22 mètres de largeur minimum. Ce canal, qui traverserait les reliefs les moins élevés de la ville neuve de Marseille, serait orienté du nord-ouest au sud-est à son débouché dans l'anse de la *fausse monnaie*; en sorte, que par des vents de terre du nord-est (mistral), un navire pourrait sortir et gagner le large par cette nou-

velle passe. On espère aussi que le courant de ce canal, malgré la faible dénivellatiou de la marée, procurera dans le bassin existant un renouvellement d'eau très-favorable à la salubrité. En effet, ce bassin sert de débouché à la plupart des aqueducs et égouts de la ville qui y déposent une masse croissante de dépôts infects, et rétrécissent à la fois l'espace nécessaire au stationnement des navires.

Les alluvions venant du large, moins abondantes à Marseille qu'à Cette, consistent en vase sablonneuse.

Port de Cassis

Figures 563 des planches

Le port de Cassis, situé sur le littoral des atterrages de Marseille, se compose d'une passe, d'un port proprement dit, et d'un arrière-port servant particulièrement à la construction et à la réparation des navires.

La surface des trois parties réunies est de 3 hectares 65, et présente 260 mètres de quais, non compris ceux des môles. Cent bâtiments d'un tonnage moyen peuvent stationner dans le port; un môle de 300 mètres de longueur, formé en partie par une langue saillante de rochers de 130 mètres de longueur, abrite l'avant-port et la passe contre les vents du sud-est.

Un petit môle de 50 mètres de longueur s'enracine sur le précédent, et sert à former l'arrière-port. Le port est sujet à des alluvions qu'on enlève au moyen de pontons à cuillers.

Port de la Ciotat

Figures 563 des planches.

Figures 565 des planches

Ce port, qui est à peu près à égale distance de Marseille et de Toulon, est un lieu de relâche et de refuge, précieux même pour les bâtiments de l'État. Il est situé sur la côte ouest de la baie et rade de même nom, et n'était autrefois abrité que partiellement contre les vents régnants du sud-est par un môle de 160 mètres de long. Plus tard, un deuxième môle de 245 mètres de long, parallèle au précédent mais plus au large, a triplé la surface abritée, qui est de 132,000 mètres quarrés, pouvant contenir 150 navires de 4 à 5 mètres de tirant d'eau. L'ancien môle ne sert plus aujourd'hui que de débarcadère.

L'entrée actuelle, large de 140 mètres, est entièrement ouverte aux vents d'Est qui y déterminent une grande agitation. On projette en ce moment de la resserrer en enracinant un nouveau môle curviligne sur la rive opposée à celle du dernier môle. Cette construction, fondée sur un écueil sous-marin fort dangereux, aurait 100 mètres de développement, 6 mètres de hauteur et 4 mètres de large au couronnement, et elle abriterait le port de la Ciotat contre les vents de nord-est et d'est; mais ce port resterait toujours exposé aux vents régnants du sud-est.

La Marine Militaire avait réclamé en conséquence, que le môle projeté fût prolongé vers le sud; mais l'on a ajourné cette amélioration qui était dispendieuse par la profondeur de 8 à 9 mètres d'eau à laquelle il aurait fallu fonder ce prolongement. On se bornera, pour amortir l'action des vagues, à établir au large du nouveau môle projeté une autre jetée en brise-lame, et à dresser en plans inclinés allongés les revers intérieurs du nouveau môle et de l'ancien qui lui correspond à l'entrée du port.

Les alluvions venant du large sont peu abondantes à la Ciotat et de nature vaseuse; on les enlève par des cure-môles.

Le port de la Ciotat est renommé pour la construction des navires de commerce; il est sorti de ses chantiers des navires de plus de 800 tonneaux.

Le port de Saint-Nazaire est situé au fond de la grande et belle rade de Brusq, entre la Ciotat et Toulon. Il est couvert par deux môles. Port de Saint-Nazaire.

Celui de l'Est de 90 mètres de longueur qui abrite contre les vents d'est et de sud-est a pour but principal d'arrêter les vases qu'on attribue à l'embouchure de la rivière de Rèpe à 360 mètres de distance à l'Est. Figures 566 des planches

Le second môle à l'ouest de 100 mètres de longueur et de 2 mètres 15 au-dessus de la basse mer, sert à défendre le port contre les vents du sud-ouest.

Le moindre intervalle que les deux môles laissent entre eux est de 250 mètres.

Les quais présentent un développement de 560 mètres. Le port creusé pourra contenir 50 bâtiments de 150 à 200 tonneaux.

Les alluvions sont considérables à Saint-Nazaire; on les enlève par des pontons à cuillers auxquels l'on se proposait de substituer une drague à vapeur.

On projetait aussi pour réduire à 150 mètres le débouché trop considérable de la passe,

1° De prolonger de 20 mètres le môle de l'ouest en le terminant par un musoir arrondi. Le prolongement s'élèverait de 5 mètres au-dessus du niveau de la basse mer. Il serait exécuté vers le large en enrochements avec talus de 3 de base pour 1 de haut; vers le port il y aurait un quai;

2° De prolonger aussi le môle de l'Est; en établissant ce prolongement sur un massif de béton de 4 mètres de hauteur, au-dessous du niveau de la mer, défendu extérieurement par un enrochement de 2 mètres de largeur au sommet et arasé au niveau de la crête du môle. Cet enrochement serait d'ailleurs étendu sur le pourtour extérieur de l'ancien môle.

Port de commerce de Toulon.

Figures 532 des planches.

Ce port est placé aujourd'hui à côté du port militaire, dans une portion de la vieille Darse, et occupe sur environ 1050 mètres de longueur les quais de cette Darse, qui sont au nord et à l'Est, et contigus à la ville. Tout ce qu'on a dit sur la position topographique du port militaire s'applique ici. Il est question d'agrandir le port marchand actuel de Toulon, en lui annexant vers l'Est une plage qui le sépare du nouveau chantier du Mourillon dépendant de la marine militaire. Ce nouveau bassin aura 3^hect.,60 de superficie et 4 mètres de profondeur d'eau. Un de ses côtés, de 120 mètres de longueur, formera quai de stationnement des bateaux à vapeur et bâtiments de pêche; l'autre, de 165 mètres, servira aux chargement et déchargement des navires.

Port de Saint-Tropez.

Figures 566 des planches.

Le port de Saint-Tropez est situé sur le côté sud du golfe de *Grimaud*, qui lui sert de rade. Il est défendu par un môle de 162 mètres de longueur contre les vents du nord et du nord-est; un second môle de 40 mètres de longueur, qui se termine à 100 mètres de l'extrémité du premier, fixe l'entrée du port et le défend contre le ressac des vagues du sud-est, repoussées du fond de la baie.

Le port reste ouvert aux vents du nord ouest. Il présente une surface de 4 hectares 30 ares; un développement de 671 mètres de quais et d'embarcadères, trois grils de carénage, un chantier de construction spacieux, d'où sortent jusqu'à des bâtiments de 400 tonneaux.

Le port de Saint-Tropez est sujet à quelques envasements qu'on attribue aux égouts de la ville.

Port de Cannes.

Figures 566 des planches.

Figures 567 des planches.

Cette ville, qui a acquis de la célébrité par le débarquement de Napoléon revenant en 1815 de l'île d'Elbe, est située au fond du golfe de Napoul et sur sa rive Est, attenante au golfe de Juan. La plage est abritée vers l'est et le sud-est par la pointe de la Croisette et les îles de Saint-Maxent et de Lerins; mais elle est ouverte aux vents compris entre le sud et l'ouest qui soufflent avec une grande violence pendant l'hiver. C'est après Marseille le port le plus important de la Provence comme port d'exportation. Pour en faire un port de refuge pour les grands navires du commerce, et même pour ceux de l'État, on projette en ce moment la construction d'un môle de 189 mètres de longueur et 8 de largeur au couronnement dirigé du nord-ouest vers le sud-est, à l'extrémité duquel il y aura 9 mètres d'eau qui se réduiront à 5 mètres à 160 mètres en arrière de cette extrémité.

L'entrée du port avec 120 mètres de débouché et 6 mètres de profondeur

d'eau sera ainsi praticable por tous les vents. La sortie seule sera difficile par les vents du sud-ouest, qui sont ceux de la tempête dans le golfe de Napoul.

Le môle doit être, au reste, garanti au large par une digue *tronçonnée* à claire-voie en maçonnerie à pierres sèches formée de blocs de granit de 2 à 3 mètres cubes chacun.

La rade de Cannes est exposée à des alluvions très-abondantes de sable. Les vents du sud-ouest mettent en mouvement et suspendent dans l'eau les sables de la mer et du rivage, et les déposent devant la ville. Lorsque les vents passent au sud, les vagues attaquent les sables qui forment le fond du mouillage et les poussent vers l'est. Ces deux effets d'accumulation et d'enlèvement des sables se reproduisent presque alternativement lorsque le vent faiblit, mais en persistant dans les mêmes directions. Le port de Cannes dans son état actuel pouvait donc craindre, tantôt d'être envahi par la mer, et tantôt d'être comblé par les sables. L'on espère que les ouvrages projetés préviendront l'un et l'autre résultat.

Port d'Antibes

Figures 566 des planches

Figures 568 des planches

Antibes, placé sur les confins de la Provence et de la principauté de Monaco, est situé dans le rentrant Est du cap qui termine le golfe de Lyon à l'Est, et sur une côte dirigée du sud-ouest au nord-est. L'entrée de la rade d'Antibes, de 220 mètres de largeur, est ouverte aux vents du nord-est.

A droite, en regardant la mer, est un môle de 469 mètres de développement, faisant front au nord-est, et qui forme en même temps une des parois du port ; celui-ci est placé ainsi à gauche de l'entrée de la rade. Son ouverture, de 170 mètres de largeur, est dirigée au nord-ouest, et est limitée à l'ouest par un autre môle de 154 mètres de longueur, bien moins saillant dans la rade que le premier, vers lequel il converge légèrement.

Le port d'Antibes ne présente au reste, qu'une surface abritée d'environ 42,000 mètres quarrés et 624 mètres de développement de quais; il peut contenir 100 navires d'un tonnage moyen.

L'agitation de la mer y est assez grande par les vents compris entre le nord-est et le sud-est ; les alluvions y sont sablonneuses mais peu abondantes (1).

(1) On n'a pas parlé dans cette description sommaire ni du port d'Agde, à l'embouchure de l'Hérault, que des curages continuels ont peine à préserver du comblement par les sables ; ni de celui d'Aigues-Mortes, accessible du temps des Croisades, et aujourd'hui très-éloigné de la mer ; ni de celui de Fréjus, qui n'existe plus que de nom.

Ports de l'Ile de Corse.

L'île de Corse est dirigée à peu près du sud au nord.

Figures 569 des planches

Au sud, elle est séparée de la Sardaigne par le détroit dit Bouches-de-Bonifacio.

Au nord, elle se prolonge dans la mer par le cap Corse, qui forme une saillie de six lieues environ sur deux lieues de large.

Ports de la côte Est en remontant du sud au nord

En considérant d'abord la côte Est tournée vers l'Italie, et en partant du sud vers le nord on rencontre les ports suivants :

Port de Porto-Vecchio

Porto-Vecchio, vaste golfe de 3,000 mètres de longueur sur autant de largeur, où il y a depuis 5 mètres jusqu'à 24 mètres de profondeur d'eau, et qui n'est ouvert qu'aux vents du nord-est. C'est un lieu de rassemblement pour les grandes expéditions navales.

De Porto-Vecchio, jusqu'à Bastia, la côte Est sur une étendue de plus de vingt-six lieues n'offre que quelques anses, et les embouchures maréeageuses des rivières torrentielles du Travo, du Fiumorbo, du Fioraventi, du Tavignano, du Bravone, de l'Alistro, de l'Alisatti, du Fiumalto et du Golo.

Port de Bastia.

Bastia est à l'origine sud du cap Corse, non loin de l'entrée d'un petit golfe qui s'enfonce dans les terres dans la direction du nord au sud.

Le port de 250 mètres de longueur sur environ 150 mètres de largeur, est au fond d'une crique ouverte aux vents compris entre le nord-est et le sud, en passant par l'Est. Cette exposition y détermine une grande agitation à laquelle on a cherché à remédier par un môle saillant en forme de chevron très-ouvert d'environ 164 mètres de longueur faisant face aux vents de nord-est, et qui a rétréci la passe à 80 mètres d'ouverture.

Le port de Bastia, peu sujet aux attérissements, peut contenir 50 navires d'un tonnage ordinaire.

On vient d'allonger les débarcadères existants, et l'on se proposait de construire une cale de radoub, et 200 mètres de quais nouveaux.

Port de Porticiollo

Porticiollo est au milieu du flanc Est du cap Corse, et dans une petite anse qui ne peut réunir aujourd'hui que 8 à 10 bâtiments, mais qui en admettra 25 à 30 quand elle sera abritée contre les vents du nord, par un môle de 90 mètres de longueur, aujourd'hui en construction. Porticiollo est peu sujet aux attérissements.

Port de Macinaggio

Macinaggio est vers l'extrémité nord du flanc Est du cap Corse dans l'anse de Coscia. Il est abrité par 2 môles : l'un de 80 mètres de longueur, le défend contre les vents du nord. Le port, envahi par les alluvions, qui

ne peut réunir aujourd'hui que 12 à 16 navires, en admettra une trentaine lorsqu'on l'aura creusé à l'aide de pontons à Cuillers.

En considérant le côté ouest de la Corse tourné vers la France, et redescendant du cap Corse au nord, vers les bouches de Bonifacio au sud, on rencontre un grand nombre de ports. Ports de la côte ouest en redescendant du nord vers le sud

Le port de Centuri est vers l'extrémité nord du cap Corse dans une petite anse peu sujette aux atterrissements, qui recevra 16 à 20 navires, quand elle sera abritée contre les vents d'ouest, par un môle de 43 mètres de longueur, actuellement en exécution. Port de Centuri. Figures 569 des planches.

Le port de Saint-Florent est au fond d'un vaste golfe qui, par sa profondeur d'eau et son étendue, pourrait recevoir des flottes de bâtiments de guerre. Ce golfe n'est ouvert qu'aux vents de nord-ouest. Port de Saint-Florent.

On projette la construction d'un môle et d'un quai.

La ville de l'Ile-Rousse compte à peine 60 ans d'existence, et est devenue l'un des centres principaux du commerce de la Corse. Elle est située dans l'ancienne Balagne, surnommée le Jardin de la Corse, et à 50 lieues seulement des côtes de France. Port de l'Ile-Rousse.

Le port de l'Ile-Rousse est situé entre la ville et l'île de ce nom, qui forme un môle naturel contre les vents du nord; mais le canal, du reste peu exposé aux atterrissements, reste entièrement ouvert aux vents du nord-est et d'Est. L'on a projeté en conséquence, un môle d'abri de 100 mètres de développement rattaché à la pointe de l'île de la *Pietra*, et dirigé du nord au sud-est.

Le port de Calvi est situé sur le flanc ouest d'un golfe assez étendu, qui n'est ouvert qu'aux vents de nord. Ce port, peu sujet aux alluvions, pourrait contenir 90 bâtiments. Port de Calvi.

On y projette la construction de quais de débarquement.

Galeria, Girolata, Porto, Carghèse, sont de petites anses situées sur les côtes, au fond des golfes de même nom, lesquels se succèdent dans le littoral nord de la côte ouest de la Corse. On se propose d'y établir des débarcadères.

Le port de *Sagone* est situé dans une anse de 1,000 mètres de longueur, sur autant de largeur dans la région nord-est du vaste golfe de Sagone, qui n'est ouvert qu'aux vents soufflants depuis le nord-ouest jusqu'au sud-ouest en passant par l'ouest. Port de Sagone.

On y devait construire aussi des débarcadères.

Le port d'Ajaccio est situé sur le flanc nord de la magnifique baie du Port d'Ajaccio.

même nom, laquelle ayant 4,000 mètres d'ouverture et 3,000 mètres de renfoncement, et depuis 30 mètres jusqu'à 80 mètres de profondeur d'eau, peut être considérée elle-même comme un vaste port pour les armées navales. Malheureusement la rade et le port d'Ajaccio sont très-exposés aux vents de sud-ouest.

On projette un môle d'abri pour le mouillage des Cannes contre les vents du sud à l'ouest, et le prolongement des quais existants, sur près de 1,000 mètres de longueur entre Ajaccio et le mouillage précité.

Port de Propriano. Le port de Propriano est dans la région sud-ouest de la Corse, au fond du golfe de *Valinco*. Ce port, comme le golfe, est ouvert aux vents d'ouest; et l'on exécute pour l'abriter un môle de 100 mètres de longueur.

Depuis Propriano jusqu'à Bonifacio au sud de l'île, la côte qui se dirige du nord-ouest au sud-est ne présente que des falaises élevées et quelques criques où débouchent des ruisseaux torrentiels.

Port de Bonifacio. Le port de Bonifacio présente jusqu'à 20 à 30 mètres de profondeur d'eau à une certaine distance du môle actuel; mais il se comble au fond, et l'on se proposait d'y opérer des draguages.

Une cure-môle à vapeur parcourra successivement les ports de la Corse sujets aux attérissements et les désobstruera des bancs de sable qui se sont formés particulièrement à l'embouchure de divers cours d'eau, et qui ont contribué sur beaucoup de points au développement de marais pestilentiels.

Il serait utile, pour les lecteurs, de joindre aux documents sommaires qu'on vient de donner sur les ports français ceux qui ont été publiés : dans les *Annales maritimes et coloniales* sur les ports des colonies françaises;

Dans les voyages de M. le baron Charles Dupin, sur les ports de la Grande-Bretagne;

Par divers auteurs français et étrangers; sur les ports de la Baltique; sur ceux d'Espagne et Portugal, sur ceux de Gênes et Venise, Trieste et Constantinople, sur le nouveau port d'Alexandrie en Égypte, élevé par M. de Cerisy ingénieur français; enfin sur les ports des deux Amériques septentrionale et méridionale.

Figures 570 des planches. On trouvera dans les figures 570 des planches les plans généraux des ports étrangers d'Anvers, Flessingue, de Rotterdam, de Neiwendip, d'Helvœt Sluys, de Hambourg, de Londres, Liverpool, Hull, Bristol, de Gênes, la Spezzia, Livourne, Ancône, Venise et Trieste, et autres ports étrangers.

RÉSUMÉ DE LA TRENTE-QUATRIÈME LEÇON.

DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTIONS DANS LEUR APPLICATION AUX OUVRAGES A LA MER.

Des enrochements et ouvrages en pierres perdues.

L'emploi d'amas de pierres et de blocs d'un poids plus ou moins considérable pour se défendre contre les irruptions de la mer et pour s'abriter contre les tempêtes, remonte à la plus haute antiquité, et a dû précéder l'extension du même moyen aux fondations artificielles d'ouvrages s'élevant au-dessus des eaux. C'est encore aujourd'hui l'unique moyen de défense des petits havres où se réfugient les pêcheurs des côtes, lorsqu'à proximité il existe des carrières ou des pierres éparses rapportées par la mer elle-même. Toutefois, ce moyen, le plus simple de tous, force d'entasser un volume considérable de matériaux, en quelque sorte *improductifs* sous le rapport de la résistance. Il exige de plus, à raison des talus extérieurs que prennent les amas de blocs, une surface d'assiette considérable; enfin, il élève des espèces d'écueils en avant des enceintes qu'on veut abriter ou garantir.

Il a été reconnu, d'ailleurs, à la digue de Cherbourg, que ce système pour *la hauteur entre les niveaux de basses et hautes mers* eût été plus dispendieux que celui d'une muraille en maçonnerie. Mais à côté de ces inconvénients est un avantage essentiel dans beaucoup de cas, c'est l'espèce d'indestructibilité des digues en enrochements par le jeu des mines, en cas d'attaques de l'ennemi.

On a vu, dans la vingtième leçon, que sur les fleuves et rivières les plus rapides, des pierres de $0^{m. cub.}$,216 pesant environ 400 kilog. *hors de l'eau*, avaient une stabilité suffisante.

A la mer, la grosseur et le poids nécessaires aux matériaux d'enrochements dépendent de la profondeur de leur immersion et de l'agitation de la mer dans les divers attérages. Ainsi les galets des côtes de la haute

Normandie, qui pèsent environ 15 à 20 kilogrammes, sont roulés par les vagues et les courants, et réduits enfin à l'état de gravier et de sable.

Digue de Cherbourg.

Figures 571 des planches.

A la digue de Cherbourg, ainsi qu'il a déjà été dit, les petites pierres dont le volume réduit était de $0^{m.c.},007$, et le poids de 16 kilogrammes *hors de l'eau*, n'avaient pu acquérir de stabilité à 5 mètres d'immersion en contre-bas des basses mers, qu'après avoir été *dressées par la mer elle-même*, sur un talus de près de 10 de base pour 1 de hauteur.

Des blocs de 15 à 20 pieds cubes ($0,51^{m.c.}$ à $0^{m.c.},68$), pesant *hors de l'eau* de 1,170 kil. à 1,560 kil., immergés dans les zônes les plus *voisines en contre-bas* du niveau des basses mers, avaient éprouvé à cette digue des dérangements notables, et l'on n'avait obtenu de stabilité *dans ces mêmes zônes*, et dans le travail nommé *digue d'épreuve*, que par des blocs de 20 à 25 pieds cubes ($0^{m.c.},68$ à $0^{m.c.},81$), pesant *hors de l'eau* 1,560 à 1,680 kilogrammes.

Des pierres brutes pesant 6,500 et 9,000 kilogrammes hors de l'eau immergées *au-dessus* du niveau des basses mers, et rapprochées du couronnement de la digue, ont été enlevées à l'extérieur de cet ouvrage et rejetées vers l'intérieur; enfin des blocs de 20 à 25 mètres cubes ont pu seuls y résister au *maximum* d'intensité des vagues. (Voir à l'appendice de la deuxième section, le précis historique de la digue de Cherbourg.)

Jetée du Becquet.

A la jetée du port du Becquet, dans la rade de Cherbourg, des pierres de $0^{m.c.},55$ à $0^{m.c.}61$, pesant *hors de l'eau* 1,260 à 1,400 kilogrammes, ont été enlevées et projetées par les vagues contre l'estacade qu'elles devaient défendre.

Saint-Jean-de Luz.

A Saint-Jean-de-Luz, des blocs de 1 mèt. cub. et $1^{m.c.}$ 50, pesant de 2,400 à 4,000 kilogrammes, ont été soulevés et projetés à plus de 6 mètres de hauteur.

Môle de Cette.

Au nouveau brise-lame isolé du port de Cette dans la Méditerranée, on emploie du côté du large, et en contre-bas du niveau des hautes mers, des pierres de $\frac{1}{2}$ à 1 mètre cube sur un talus de 8 mètres de base pour un de hauteur.

Môle d'Alger.

Au môle d'Alger des blocs de 3 mèt. cubes, pesant 7,000 kilog. *hors de l'eau*, n'avaient point une stabilité suffisante, et les blocs factices de béton employés par M. l'ingénieur Poirel (voir *Annales des ponts et chaussées de* 1838), avaient 10 à 12 mèt. cubes, et pesaient de 22,000 à 26,000 kil. *hors de l'eau*.

Breakwater de Plimouth

Au Breakwater de Plymouth, en Angleterre, depuis l'origine des tra-

vaux en 1812 jusqu'en 1816, le poids total des matériaux entassés était de 1,011,803 kil., et se décomposait comme suit (1):

Pierres pesant moins d'un tonneau marin (1,000 kilogrammes) hors

de l'eau.	428,904 kilogrammes.
de 1 à 3 tonneaux.	309,706
de 4 à 5 tonneaux.	150,593
de 5 tonneaux et au-dessus. . .	127,600

Bien que ces matériaux eussent été disposés vers le large en plans de 3 de base pour 1 de haut entre les niveaux des basses et hautes mers; cependant des blocs du poids de 2 à 5 tonneaux placés dans le voisinage du couronnement avaient été soulevés et jetés vers l'intérieur par dessus la crête de ce brise-lame.

Sa largeur, qui n'avait été projetée qu'à 9^m,80 au sommet, et 50 mèt. à la base, est portée maintenant à 13^m,75 au sommet, et à 120 mèt. à la base. Une risberme de 20 mèt. a été établie du côté du large au niveau des basses mers. Les talus vers le large qui s'élèvent à partir de cette risberme jusqu'au couronnement, et ce couronnement lui-même, sont exécutés aujourd'hui en blocs d'une dimension colossale, posés en boutisses, normalement aux parements appareillés avec le plus grand soin et liés par des plâtres-ciments de la plus grande énergie. Figures 5-2 des planches.

Au breakwater de la Delaware aux États-Unis, la répartition des blocs était combinée comme suit: Breakwater de la Delaware.

Les blocs du poids *hors de l'eau* de 255 kil. à 3,000 kil., dont trois quarts en blocs de 2,000 kil., et tous ceux de 3,000 kil. pour le revêtement extérieur, étaient destinés aux zônes vers le large comprises entre le fond de la mer jusqu'à la côte 1^m,83 au-dessous des plus basses mers d'équinoxe. Ces matériaux devaient être disposés sur deux talus, celui inférieur de 5 mèt. de base sur 4 de hauteur, qui est le talus naturel; celui supérieur de 3 de base sur 1 de hauteur.

Les blocs de 500 kil. à 3,000, dont trois quarts du poids de 1,500 à 2,500 kil., et tous ceux de 3,000 pour recouvrement vers le large, étaient

(1) *Nota*. La quantité totale de matériaux versés au breakwater de Plymouth pour une longueur totale de 1,530 mètres, et une profondeur moyenne, à basse mer de 12^m,60, et aux plus hautes mers de 1812, a été, de 1830 à la fin de 1837, de 1,307,690 kil.

destinés aux zônes comprises entre la côte ci-dessus et le niveau des plus basses mers, les talus étant de 3 de base pour 1 de hauteur.

Les blocs de 1,000 à 4,000 kil., dont trois quarts de 2,000 à 3,000 kilog., et tous les blocs de 3,000 à 4,000 pour recouvrement vers le large, étaient destinés aux zônes comprises entre les plus basses et les plus hautes mers d'équinoxe *calmes*, et dressés sur talus de 11 de base pour 2 de hauteur.

Enfin des blocs de 4 à 5,000 kil. rangés le plus régulièrement que possible, posés en boutisses, étaient destinés aux zônes au-dessus des hautes mers d'équinoxe.

Mode d'exécution des enrochements.

Les citations qu'on vient de faire ne tendent pas à faire appliquer en général aux enrochements à la mer, les dimensions et poids de matériaux ci-relatés, mais seulement à prémunir contre l'emploi des pierres de trop petit échantillon, et à provoquer dans chaque localité des recherches sur les dimensions et poids de matériaux que requièrent les plus grands efforts des vagues dans les tempêtes.

Dans la construction des enrochements, on doit réserver évidemment les plus gros matériaux pour les recouvrements, et les immerger de manière qu'ils soient enracinés en boutisses dans le massif général. Dans la marche du travail, on aura à se garantir contre deux effets de l'action oblique des vagues : le premier, est celui de *remonte* des matériaux des zônes inférieures vers les zônes supérieures; le second, est celui du cheminement longitudinal. A la digue de Cherbourg, on enceignait les portions d'enrochements à élever par des cordons de gros blocs qui formaient ainsi des espèces de compartiments pour les matériaux de moindre échantillon. Au breakwater de la Delawarre, on avait commencé les travaux par l'extrémité ouest, afin d'arrêter par un premier massif l'effet des lames du nord-ouest sur les travaux ultérieurs poussés de l'ouest vers l'est.

Tassements des enrochements.

Bélidor conseille, quand les côtes sont abondantes en coquillages, d'en répandre dans le corps des enrochements, parce qu'ils s'y multiplieront au point de ne plus laisser de vides.

Les enrochements éprouvent des tassements considérables qui se prolongent pendant un temps assez long; aussi il importe que les enrochements présentent, dans toutes les zônes d'un même ouvrage, une composition semblable de fragments de diverses grosseurs, et qu'ils soient du même âge. Bélidor cite, à ce sujet, des batteries établies sur les jetées de la darse neuve de Toulon, qui, par l'effet des tassements généraux s'étaient enfoncées jusqu'au niveau de l'eau. Les enrochements éprouvent d'ailleurs

de nouveaux tassements quand on les recharge ou lorsqu'ils sont exposés à de fortes tempêtes. La muraille en maçonnerie en exécution à la digue de Cherbourg, sur 7$^{m.}$ 50 de hauteur, s'affaisse moyennement de 0^{m},50 par suite de l'affaissement des eurochements de 9 à 15 mèt. de hauteur moyenne qui lui servent de base. Ce tassement, très-rapide dans la première année, diminue progressivement dans les deuxième et troisième années, devient insensible après la quatrième. On s'en rendra facilement compte en considérant qu'à cette même digue l'expérience a prouvé que 1 mètre cube de petits blocs correspondait, en *volume de digue*, à 1$^{m.c.}$,50; et 1 mètre cube de gros blocs, à 1$^{m.c.}$,66 de *volume de digue*.

Aussi, avant d'y entreprendre les maçonneries du fort central, on avait soumis à une charge d'épreuve de 23,000,000 kilog. le massif d'enrochements et une plate-forme de maçonnerie de 70 mètres de longueur, 40 mètres de largeur et 10 mètres d'épaisseur, qui lui avait été superposée. Sur la branche de l'Est de ce grand ouvrage, les enrochements remontent à 1786, époque de l'immersion à grands intervalles des premiers cônes. Les débris de ces cônes entre lesquels de nouveaux versements avaient eu lieu postérieurement, offrent aujourd'hui plus de résistance que les zônes intercalaires. Celles-ci elles-mêmes avaient été formées successivement et par intermittences, dans un intervalle de temps de plus de trente ans, de manière que dans le même profil transversal, du nord au sud, les enrochements d'une hauteur moyenne étaient de différents âges et composition. De là, des tassements inégaux dans l'exécution de la muraille supérieure en maçonnerie. Le tableau ci-dessus en relate les principaux chiffres relativement à un repère fixe.

DIGUE DE

Tableau indiquant les tassements successifs qui s'opèrent sur les

DATES DES NIVELLEMENTS.	Maçonnerie de 97 mètres de longueur, élevée en 1833, sur 10 mètres d'épaisseur				Maçonnerie de 150 mètres de longueur, élevée en 1834, sur 10 mètres d'épaisseur. Côté nord de la muraille.				Côté sud de la muraille.				Maçonnerie de 150 mètres de longueur, élevée en 1835, sur 10 mètres d'épaisseur. Côté nord de la muraille.				Côté sud de la muraille.			
	Côtés nord et sud, extrémité ouest.	Tassements successifs.	Côtés nord et sud, extrémité Est.	Tassements successifs.	Extrémité ouest.	Tassements successifs.	Extrémité Est.	Tassements successifs.	Extrémité ouest.	Tassements successifs.	Extrémité Est.	Tassements successifs.	A 15 mètres de l'extrémité ouest.	Tassements successifs.	A l'extrémité Est.	Tassements successifs.	A 15 mètres de l'extrémité ouest.	Tassements successifs.	A l'extrémité Est.	Tassements successifs.
	m. 0.0		m. 0,000		m. 0.000		m. 0.000		m. 0.000		m. 0.000									
		m. 0,131		m. 0.037		m. 0,000		m. 0,000		m. 0,000		m. 0,000								
Le 2 avril 1834	0.131		0.037		•		•		•		•		•		•		•		•	
		0,063		0,063		0,133		0 333		0,103		0,293								
Le 10 octobre 1834 . .	0.333		0.373		0 103		0.233		0.133		0.333		•		•		•		•	
		0,103		0,130		0,300		0,131		0,136		0,130								
Le 20 mars 1835. . . .	0.335		0.543		0.363		1.133		0.313		0.173		m. 0,000		m. 0.000		m. 0.000		m. 0.000	
		0,023		0,033		0,133		0,334		0,306		0,544		m. 0,237		m. 0,101		m. 0,333		m 0,370
Le 3 décembre 1835. .	0.353		0.000		0.500		0.753		0 333		0.331		0.237		0 101		0.333		0.370	
		0,023		0,030		0,337		0,013		0,043		0,137		0,017		0,003		3,010		0,004
Le 24 déc. 1835 (après la tempête du 20). . .	0.383		0.030		0.367		0 701		0 365		1.040		0.331		0.160		0.560		0.300	
		0,023		0,040		0,050		0,131		0,010		0,039		0,100		0,196		0,023		0,355
Le 12 décembre 1836. .	n. 0.403 s. 0.333		n. 0 030 s. 0.530		0 337		0.913		0.030		1.007		1.450		0.363		0.003		0.744	
		0,010		0,017		0,057		0,004		0,034		0,061		0,043		0,063		0,001		0,047
Le 2 janvier 1837 (après la tempête du 30 déc.).	0.443		0.707		0 304		1.000		0.004		1.131		0.400		0.484		0.073		0.793	
		0,023		0,031		0,031		0,000		0,000		0,000		1,000		0,020		0,090		0,063
Le 1er décembre 1837.	0.400		0.730		0.433		1.000		0.001		1.131		0.190		0.100		0.073		0.010	
		0,010		0,000		0,010		0,010		0,000		0,013		0,010		0,000		0,023		0,000
Le 4 avril 1838.	0.513		0.733		0.003		1.033		0.004		1.170		0.510		0 400		0.073		0.046	
		0,004		0,000		0,000		0,000		0,003		0,003		0,090		0,000		0,000		0,004
Le 10 août 1838. . .	0.510		0.730		0.003		1.033		0.007		1.173		0.313		0.155		0 073		0.940	
Id. Hauteur totale au-dessus de zéro du couronnement des maçonneries	m. 7.333		m. 7.036		m. 7.020		m. 7 133		m. 7 033		m. 7.197		m. 7 453		m. 7 464		m. 7.327		m. 0 993	

Nota. Le point de repère est placé sur le massif en maçonnerie du fort elliptique. Sur le parement vertical d'une assise de l'Est, on a tracé une ligne horizontale à la hauteur de 7 mètres au-dessus du point 0

Il est résulté de ces inégalités de tassements dans les deux sens longitudinaux et transversaux, que les parements longitudinaux au nord et au sud de la muraille en maçonnerie, présentent des courbures et des jarrets assez prononcés dont le maximum est de 0m,43 de flèche pour 220 mètres de corde; que des lits horizontaux de l'appareil sont ondulés de 0m,60 sur 400 mètres de corde, et que les talus primitifs des parements sont devenus plus abruptes dans certains joints et moins roides dans d'autres. Les lézardes transversales et longitudinales, déterminées par les tassements dans le massif, ont donné lieu à des reprises de maçonnerie, à des injections ou coulis

CHERBOURG.

différentes parties de maçonnerie exécutées sur la branche de l'Est.

Maçonnerie de 230 mètres de longueur, élevée en 1836, sur 10 mètres d'épaisseur																Maçonnerie de 150 mètres de longueur, élevée en 1837, sur 10 mètres d'épaisseur							
Côté nord de la muraille.								Côté sud de la muraille.								Côté nord de la muraille.				Côté sud de la muraille.			
A 80 mètres de l'extrémité ouest.	Tassements successifs.	A 141 mètres vers l'Est.	Tassements successifs.	A 200 mètres vers l'Est.	Tassements successifs.	A l'extrémité Est.	Tassements successifs.	A 80 mètres de l'extrémité ouest.	Tassements successifs.	A 141 mètres vers l'Est.	Tassements successifs.	A 200 mètres vers l'Est.	Tassements successifs.	A l'extrémité Est.	Tassements successifs.	A 80 mètres de l'extrémité ouest.	Tassements successifs.	A 150 mètres vers l'Est.	Tassements successifs.	A 80 mètres de l'extrémité ouest.	Tassements successifs.	A 150 mètres vers l'Est.	Tassements successifs.
•		•		•		•		•		•		•		•		•		•		•		•	
•		•		•		•		•		•		•		•		•		•		•		•	
•		•		•		•		•		•		•		•		•		•		•		•	
•		•		•		•		•		•		•		•		•		•		•		•	
m. 0.000		m. 0.000		m. 0.000		m. 0.080		m. 0.000		m. 0.000		m. 0.000		•		•		•		•		•	
0.110	m. 0,110	0.080	m. 0,150	0.110	m. 0,162	•		0.110	m. 0,100	0.300	m. 0,30	0.500	m. 0,00	•		•		•		•		•	
0.181	0,081	0.050	0,000	0.011	0,000	•	m. 0,321	1.270	0,120	•	0,020	0.300	0,10	m. 0.000		m. 0.000		•		•		•	
0.200	0,009	0.081	0,026	0.040	0,090	0.031		0.180	0,060	0.080		0.550	0,050	0.017	m. 0,017	0.101	m. 0,221	m. 0.181		m. 2.401		m. 0.161	
•	0,000	•	0,000	•		•	0,000	•	0,010	•	0,300	•		•	0,011	•		•		•		•	
0.300		0.199		•		0.321		0.360		0.325		•		0.300		•		•		•		•	
m. 7.424		m. 7.498		m. 7.221		m. 7.498		m. 6.000		m. 7.240		m. 7.33		m. 7.111		à l'ext. ouest, m. 7.408		à 150 mètr. m. 7.663		à l'ext. ouest, m. 7.111		à 150 mètr. m. 7.261	

de l'hydromètre du port militaire. La retraite ou le lit supérieur de cette assise est à 7^{m},13 au-dessus du même point.

de mortier. L'on a pourvu aux dépressions des assises inférieures par des appareils à crossettes et par des modifications progressives dans la hauteur des assises supérieures des pierres de parement. Enfin on a ajourné à quelques années l'exécution des deux dernières assises supérieures et celle du parapet, afin de pouvoir rétablir des alignements rectilignes, des lits horizontaux et des talus uniformes, dans la partie constamment apparente de la muraille. Du reste, les défectuosités *inévitables* des parties inférieures n'ont pas eu une influence sensible sur la résistance de la muraille; car les portions de sa longueur qui ont cessé de tasser, ont soutenu l'épreuve des plus fortes tempêtes.

Blocs factices.

La difficulté de trouver, d'exploiter et d'enlever des pierres de grande dimension, a fait recourir à des blocs factices en béton. Bélidor en fait mention dans son architecture hydraulique (t. 4, pag. 178 et suiv.); M. Icard, Ingénieur, avait proposé d'élever la digue de Cherbourg avec des blocs de ce genre, de 7$^{m.c.}$4, pesant 16,280 kilo. *hors de l'eau*; M. le colonel Emy avait imaginé de composer de la même manière des prismes hexagonaux cubant 32 mèt. cubes, et pesant environ 70,000 kil. hors de l'eau; mais il supposait, ce qui est douteux, que ces blocs pourraient être arrimés régulièrement les uns au-dessus des autres. Ces prismes, dans les côtes sujettes aux marées, auraient été moulés sur un chantier que la mer aurait découvert de 5 mètres; puis, à marée montante, ils auraient été soulevés par un grand tonneau vide, et remorqués avec lui au lieu de versement, et là, immergés par l'introduction de l'eau dans le tonneau. Ce flotteur eût servi ainsi au transport d'un grand nombre de prismes.

Figures 573 des planches.

M. l'Ingénieur Poirel, pour les grosses réparations du môle d'Alger, a fait confectionner des blocs factices de béton, depuis 10 mètres jusqu'à 28 mèt. cubes sur la plage même où ils devaient être coulés. Le mètre cube de ces blocs, pour confection et échouage, était ressorti à 37 francs, dont 36 francs se rapportaient au béton proprement dit.

Figures 574 des planches.

Moyens d'exploitation et de transport des blocs.

On cite d'abord, quant aux moyens d'exploitation et de transport par terre des blocs aux lieux d'embarquement et aux moyens de transport par mer et d'immersion, les pontons décrits par Bélidor (tom. 4, pag. 170 de l'*Architecture hydraulique*); l'inspection des figures 573 des planches suffira pour faire comprendre leur installation.

Figures 575 des planches.

A Cherbourg, les blocs et moellons de grès sont transportés par des triqueballes ou des binards et des tombereaux, depuis les carrières jusqu'à deux grues placées à l'origine d'un chemin de fer. Ce chemin à tracé curviligne établi par M. l'ingénieur Virla, sert à conduire sur des waggons les blocs depuis les grues précitées jusqu'au fond du bassin de flot du port de commerce de Cherbourg, où, à l'aide d'un appontement fixe et d'un treuil mobile à chariot, on dépose les blocs sur des bâtiments du port d'environ 60 tonneaux qui les transportent à la digue.

On a construit en 1834 et en 1835, dans le port militaire de Cherbourg, sur les plans de M. l'officier du génie maritime Daviel, un ponton d'essai, ingénieusement disposé pour le transport et le versement

Figures 576 des planches

des gros blocs; il devait être remorqué à la digue par un bateau à vapeur de la force environ de 50 chevaux. On supposait que ce ponton pourrait transporter et verser, dans chaque voyage, 150 mèt. cubes de moellons contenus dans des caisses à roulettes, ou 180 gros blocs portés sur de petits chariots.

Le versement du chargement arrimé sur le pont et à fond de cale, devait être opéré en moins d'une heure, au moyen de bascules disposées tout autour du bord, et jouissant d'un double mouvement : l'un pour opérer le versement; l'autre pour faire glisser dans la cale les caisses et les chariots vides.

Ce ponton a fait en été quelques voyages à la digue; mais l'autorité maritime a craint que, sortant dans des temps ordinaires, il n'éprouvât des avaries graves, et ne fût exposé à couler dans la rade, à raison des variations *brusques* et fréquentes qu'éprouvent le climat de Cherbourg et la direction du vent dans la rade. D'ailleurs les bateaux à vapeur dont on pouvait disposer, étaient trop faibles pour lutter dans la remorque du bateau contre des vents contraires et un peu énergiques.

On a donc eu recours, comme autrefois, pour les transports des blocs et moellons, aux bateaux allant à la voile; mais les matériaux à verser ne devant s'élever les uns qu'au niveau des basses mers de mortes eaux, les autres qu'au niveau des basses mers de vive eau, les versements se font par bâtiments à haute mer presque verticalement sur les emplacements indiqués. Ce sont les mâts et gréements des navires eux-mêmes qui élèvent les blocs et les jettent à la mer; des bouées placées sur deux rangs, à l'intérieur et à l'extérieur de la digue, servent à guider et à tenir les bâtiments dans l'opération du déchargement.

Lorsque, sous le Régime Impérial, on tentait l'exécution en enrochement des parties de la digue *supérieures au niveau des basses mers*, les bâtiments à la voile manquaient souvent d'eau dans les mortes eaux, pour faire les versements aux lieux indiqués. Alors on était forcé de jeter les blocs nouveaux sur la plage déjà enrochée, de les remonter à leur emplacement définitif à grands frais et par-dessus les aspérités des blocs antérieurement versés. Même quand le vent s'opposait à ce que les bateaux échouassent sur la rive extérieure *au nord* de la digue où les enrochements étaient en exécution, on opérait le déchargement sur la rive intérieure *sud*, et les blocs étaient non-seulement remontés, mais il fallait

de plus leur faire passer la crête de l'ouvrage et les faire redescendre au nord.

Figures 577 des planches.

L'opération du remontage s'effectuait à l'aide d'appareils amovibles de mâts et de bigues installés sur la crête supérieure des ouvrages déjà faits.

L'on payait par mètre cube et par tonneau de blocs ainsi remontés sur la rive nord, y compris les dépenses de bigues et de gréements le prix de 5,00 à 2 fr. 50, et pour le double travail de remontage sur une rive et de descente sur l'autre, 7 fr. 50 et 4 fr. 75 c.

M. l'Inspecteur général des ponts-et-chaussées Dutens dans son mémoire sur les travaux publics d'Angleterre; M. le baron Charles Dupin, dans ses *Voyages en Grande-Bretagne*, ont décrit les bâtiments qui avaient été spécialement construits pour le transport d'une partie des blocs du breakwater de Plymouth et qui fonctionnaient concurremment avec des bateaux ordinaires à la voile. On a emprunté à ces deux ouvrages les détails suivants :

Les blocs étaient placés aux carrières sur des chariots plats et roulés sur des chemins de fer jusqu'aux quais auxquels les bâtiments présentaient leur poupe.

Figures 578 des planches.

Les chariots entraient par les *sabords d'arrière* et descendaient par un plan incliné dans le *fond de la cale* qui était disposée pour recevoir huit de ces chariots pesant environ 5 tonneaux chacun. Quand le bâtiment était rendu au lieu d'immersion près du breakwater, les chariots étaient remontés par le plan incliné deux à deux par une grue établie sur le pont des navires, puis ils étaient placés sur un tablier à charnières mobiles; on faisait tomber le tablier comme une trappe; les blocs roulaient alors sur le glacis du breakwater. Les chariots vides étaient ramenés par la même grue sur le bord du pont, pour faire place à une seconde paire. De cette manière, un chargement de 80 tonneaux ne prenait que 40 à 50 minutes. Les points d'immersion des blocs étaient d'ailleurs indiqués par des fanaux et des jalons montés sur les enrochements déjà faits.

Les prix seulement d'extraction et de transport par mer de chaque tonneau de pierres employées au brise-lame de Plymouth avaient été d'abord de 3 fr. 40 c. à 3 fr. 50 c.; ils avaient été réduits ensuite à 2 fr. 97 c. et 2 fr. 22 c.

Le prix total de chaque tonneau de pierres employées au brise-lame, y compris les installations de quais, machines, mobilier en outils et les salaires de toute espèce, avait été de 10 fr. 50 c., et un personnel de 675

individus de toute catégorie avait suffi pour l'exploitation, le transport et l'immersion d'une quantité annuelle moyenne de 159.390 tonneaux, et d'une quantité maximum par an de 206.033 tonneaux.

A la digue de Cherbourg, d'après M. le baron Cachin, 3.468.290 mètres cubes de petites pierres, et 234.260 mètres cubes de blocs formant ensemble 3.702.557 mètres cubes, pesant moyennement 6.294.346 tonneaux, avaient coûté 20.968.930 fr., ce qui fait ressortir le tonneau *assorti* à 3 fr. 30 c.

Le personnel employé avait été dans la période de la plus grande activité des travaux de 1058 pour un versement moyen annuel de 214.000 tonneaux, et pour un versement maximum de 321.454 tonneaux.

Dans le devis estimatif dressé pour l'achèvement de la digue de Cherbourg, MM. les Ingénieurs Virla et Fouques-Duparc avaient évalué à 7 fr. 40 c. le mètre cube massif ou 2 fr. 84 le tonneau de moellons pour extraction, transport par terre et par mer, et immersion; et à 16 fr. 70 c. le mètre cube massif ou 6 fr. le tonneau de gros blocs dont le poids varie de 540 à 4000 kilogrammes pour extraction, transport sur le chemin de fer, embarquement, transport en rade, à 4,000 mèt. de distance, et versement; mais il faut déduire de ces chiffres l'économie obtenue par l'établissement du chemin de fer, *défalcation faite du prix de loyer et d'entretien de ce chemin* (1).

---

(1) La dépense effectuée au chemin de fer de 615 mètres de longueur entre les points extrêmes, et comprenant 1551^{m},50 de développement à une voie, a été de 227.674 fr. Elle se décompose comme suit :

Chemin des Carrières aux grues d'embarquement		(A) 37.167 fr.
Chemin de fer proprement dit		(B) 142.757
Grues d'embarquement à l'origine amont	9.436 fr.	
Appontements sur les rives du bassin de flot du port de commerce de Cherbourg	17.794 fr.	
	27.230 fr. (C)	
Mobilier en chariots, caisses, garnitures de grues et d'appontements.	20.520 fr. (D)	

La dépense moyenne d'entretien pour chacune des années 1834, 1835, 1836, 1837 et 1838, a été de (E) 4.900 fr. pour le chemin, et les appareils fixes; et de (F) 3.920 fr. pour le mobilier.

En comptant à 5 pour 100 l'intérêt annuel du capital A; à 7 pour 100 celui du capital B; à 10 pour 100 celui du capital C; à 15 pour 100 celui du capital D; et ajoutant ces in-

Des ouvrages en bois à la mer.

Les ouvrages en bois se prêtent à toutes les formes possibles de revêtements; leur solidarité n'exclut point l'élasticité, et, sous ce rapport, ils résistent bien au choc des vagues. La facilité et la promptitude de leur confection à terre, de leur assemblage et mise en place, sont très-commodes dans une foule de constructions à la mer, pour lesquelles le temps du travail est très-court, et surtout lorsque ces constructions peuvent être appelées à résister de la veille au lendemain aux efforts des plus violentes tempêtes. La dépense initiale de ces ouvrages est peu considérable : dès lors les pertes en cas d'avaries sont moindres; et ces avaries elles-mêmes sont plus promptement réparées que celles de toutes autres espèces de constructions.

Mais malheureusement la durée du bois à la mer est très-limitée. Sur la plupart des côtes, les portions de bois immergées sont détruites en 4 ou 5 ans par les vers marins, à moins qu'on n'y obvie par les expédients assez coûteux qui ont été indiqués dans la sixième leçon. Les parties émergées ne durent guère plus de temps sous l'influence des vicissitudes atmosphériques. L'oxidation ronge en peu d'années les ferrures de liaison.

Des ouvrages en fascinages à la mer.

Les fascinages à plat, les fascinages de soutenement, les tunages, les claies, les plates-formes, mentionnés à la neuvième leçon, sont employés en Hollande, en Flandre et dans le Bas-Poitou pour les revêtements d'ouvrages à la mer, même dans des parages exposés aux tempêtes. L'absence de matériaux à bon marché, autres que de frêles arbrisseaux, de la terre et du gravier, oblige de recourir exclusivement à ces derniers. Mais il faut remarquer que le succès de ce genre d'ouvrages tient :

---

térêts aux dépenses F, on trouve que la dépense totale de loyer et de l'entretien du chemin, correspond à . . . . 26.482 fr.

L'économie *relative* obtenue moyennement pour chacune des années précitées dans le prix des fournitures de blocs et de moellons du Roule, a été de . . 31.080 fr.

Le chemin de fer n'a donc produit qu'une économie *absolue* par an de . . . . . 4.592 fr.

Ce chiffre d'économie suppose d'ailleurs que les extractions continueront indéfiniment aux carrières du Roule. Quoi qu'il en soit, l'avantage essentiel, celui de la rapidité des transports, restera acquis.

1° A la position des plages sujettes à s'attérir naturellement, ou sur lesquelles on a déterminé des attérissements artificiels;

2° A un grand soin d'exécution et surtout à un *entretien continuel*,

3° Aux talus très-allongés des revêtements et à la grande hauteur de leur couronnement au-dessus de l'eau.

Toutefois, M. le colonel Émy pense que les revêtements en fascinages pourraient avec avantage être exécutés en *surfaces convexes* vers le large, que leur exécution serait plus solide, et que ces ouvrages occuperaient moins d'espace et seraient d'une meilleure défense;

4° A ce qu'ils soient immergés le plus possible, et que les parties émergées soient soustraites aux influences atmosphériques. On croit avoir remarqué que dans les climats chauds, l'ardeur du soleil détruisait rapidement les bois des fascinages, et desséchait les corrois de terre argileuse qu'on y entremêlait.

Belidor recommande aussi de favoriser, sur les ouvrages en fascinages, la propagation des moules et autres coquillages qui contribuent à les garantir des ressacs de la mer.

Cet auteur décrit, dans le tome IV de son Architecture hydraulique, page 93, une espèce particulière de *tunages* formée de fascines et clayonnages, mais sans couches entremêlées de pierrailles ou de terre argileuse; ce genre de construction est maintenu contre la tendance à l'émersion Figures 579 des planches

1° Par des pieux grêles et longs fichés à travers les couches; 2° par un grillage de revêtissage extérieur en bois et à compartiments; 3° par le remplissage de ces compartiments superficiels en blocs et moellons posés de champ et à sec, et serrés les uns contre les autres.

Il est évident que ce genre de construction ne s'applique que dans des lieux sujets aux marées, et qu'il faut avoir soin dans la construction qui s'effectue à basse mer et par intermittences, de charger les dernières couches de chaque période de travail de grosses pierres pour empêcher les vagues de les dégrader.

Des maçonneries en pierres sèches à la mer.

Les maçonneries en pierres sèches se prêtent à toutes les formes simples de revêtements; mais elles exigent, pour résister à la mer, des blocs d'un poids considérable et à peu près uniforme, et qui *soient posés en boutisses.* Il faut aussi beaucoup de soin dans l'exécution et notamment dans le *callage* des démaigrissements des blocs, afin que les pressions se transmettent sur toute l'étendue des assises, et afin que, nonobstant le mouvement en

quelque sorte *vibratoire* des matériaux, ils ne puissent pas être isolés et détachés par les vagues. Les parties supérieures de ce genre de construction n'étant tenues que par leur masse, réclament surtout des blocs en boutisses d'un plus fort échantillon encore que ceux des assises inférieures, à moins qu'on n'exécute ces parties en maçonnerie de mortier hydraulique.

Figures 580 des planches.

Les figures 580 des planches représentent divers profils pour la muraille en maçonnerie de pierres sèches, dont M. Lamblardie fils, Inspecteur général des ponts et chaussées et des travaux maritimes, avait proposé de tenter l'essai pour l'achèvement de la digue de Cherbourg. Cet Ingénieur pensait que toute cette construction devait être comme à jour et former une espèce de claire-voie dans laquelle les eaux de la mer pouvaient jouer librement. L'effet direct du choc des vagues et celui de *succion* ou de *répulsion* du dedans au dehors qui suit ce choc, devaient être, dans l'opinion de M. Lamblardie fils, d'autant moindres que le rapport des vides aux pleins serait plus grand. Il citait à l'appui de sa manière de voir la stabilité: des maçonneries en pierres sèches des forts et môles du port de Roscoff; des jetées des îles de Jersey et Guernesey qui existent depuis soixante ans sur la côte

Figures 581 des planches.

nord de la Bretagne; les môles des îles de Houat et d'Hœdic sur la côte sud du Morbihan; enfin la jetée du port de Dielette située sur la côte nord-ouest de la rade de Cherbourg, fondée sur le rocher et n'ayant que 8^{m},60 de large. Mais on lui objectait que si le noyau du massif était rempli en pierres d'un médiocre volume, les tassements inégaux ne manqueraient pas de détruire la solidité des noyaux et des parements, et que les blocs de ces derniers n'étant plus retenus seraient détachés par les vagues.

On ajoutait que les sujétions d'exécution d'une maçonnerie en pierres sèches, capable de résister à la mer entraînerait en définitive une dépense peut-être plus grande que celle d'un massif en maçonnerie de mortier hydraulique.

La destruction récente de la digue du Ligoudon, sur les côtes de l'île d'Ouessant en dehors de la rade de Brest, construite en pierres sèches sur 65 mètres de longueur et 8 mètres de hauteur, sur une base en enrochements, confirme ce qu'on a dit plus haut sur la grandeur des blocs et les soins d'exécution qu'exige ce genre d'ouvrages.

Des maçonneries en béton à la mer.

Les maçonneries en béton dans les ouvrages à la mer comme dans ceux de l'intérieur, peuvent avoir deux emplois distincts :

Le premier, de servir d'assiette de fondations, et d'être ainsi exécutées dans des zônes immergées; le second de remplacer les autres espèces de matériaux dans les zônes constamment émergées, ou alternativement hors de l'eau et sous l'eau.

Dans les deux cas, les surfaces extérieures de ces maçonneries ne peuvent ni s'éloigner beaucoup de la verticalité ni présenter des formes anguleuses et convexes, parce que la viscosité du béton l'empêcherait de s'étendre dans les rentrants de ces formes.

Les dosages, les procédés de corroyage et d'immersion du béton à la mer, réclament aussi des études spéciales dans chaque localité; car la composition chimique de l'eau de mer, sa plus grande densité que celle de l'eau douce, les troubles qu'elle peut tenir en suspension, le batillage des vagues, le choc des navires, et enfin les dénivellations des marées, sont autant de données nouvelles dont il faut tenir compte.

Les difficultés inhérentes aux maçonneries de béton dans les ouvrages à la mer se trouvent dans la fabrication, le transport et l'immersion à prix modérés, dans un temps très-court, de quantités considérables de béton très-hydraulique.

Maçonneries de béton dans les constructions constamment immergées.

Le premier emploi ci-dessus des bétons exige des caissons en bois non foncés, tels que ceux qui ont été indiqués à la vingtième leçon, page 300. Bélidor les décrit avec beaucoup de détails dans son Architecture hydraulique (tome IV, pages 178 à 190), et il dit avoir vu construire de cette manière, en 1748, une des jetées ou môles de la nouvelle darse du port militaire de Toulon. Les parois verticales de ces caissons étaient composées, comme dans les travaux en rivière, de pieux avec panneaux de palplanches, intermédiaires battus au mouton. Figures 582 des planches.

En 1829, M. l'Ingénieur Fouques-Duparc, pour former une risberme de défense du côté du large, au pied de la muraille verticale en maçonnerie actuellement en exécution au port de Cherbourg, avait projeté, à l'imitation de ce qui a été fait aux môles de Nice, d'Ancône, etc., etc., de grands caissons rectangulaires *foncés* d'environ 5 mètres de largeur moyenne, 5m,40 de hauteur et 20 mètres de longueur, capables de recevoir environ 540 mèt. cubes de béton. Ces caissons, placés en carreaux et boutisses, devaient être échoués sur une seule ligne parallèle à la muraille, à 4m,15 de distance de Figures 583 des planches.

son pied, et former à leur tour la paroi du côté du large d'une cuvette qui devait être remplie sur place en béton de $0^m,65$ à un mètre d'épaisseur. L'autre paroi de cette cuvette vers l'intérieur de la rade devait être un cordou de moellons.

Dès le début des travaux, en 1831, on a réduit les dimensions des caissons à 3 mètres de large, 2 mètres de long et 1 mètre de haut; et on les a exécutés en sapin du nord. Ils étaient tenus à flot par de petits pontons; et la remorque du lieu de confection dans le nouvel arsenal de Cherbourg, au lieu de pose à la digue, se faisait généralement dans le beau temps par les bateaux à vapeur attachés au service de la digue. Mais le placement des caisses devait être fait dans les mers de vive eau et précisément, cette période de marées concourt très-souvent dans Cherbourg avec les coups de vent. Il arrivait donc souvent aussi que le transport par mer et l'immersion des caissons ne pouvaient être faits en temps voulu. On a préféré depuis, pour l'accélération des travaux, faire confectionner les caisses à terre, dans le nouvel arsenal, les transporter vides à la digue, les y poser à basse mer et les remplir de béton à la même basse mer, et clouer un bordé sur le dessus du béton pour le défendre jusqu'à son complet durcissement.

Figures 584 des planches

Le béton, les mortiers, les matières diverses préparées, nécessaires aux maçonneries, sont du reste transportés par mer des lieux de confection dans le nouvel arsenal, au lieu d'emploi à la digue, par des trains de grands chalands du port de 12 mèt. cubes massifs ou 31 tonneaux construits solidement pour l'échouage. Ces trains, qui quelquefois comprennent jusqu'à six chalands chargés, sont remorqués par des bateaux à vapeur de la force de 50 à 60 chevaux. Les chalands sont échoués et déchargés à la basse mer sur la risberme intérieure sud de la digue. Le défaut d'emplacement pour chantiers, casernements, pour magasins à la digue, s'opposait à ce qu'on y approvisionnât les matières premières et à ce qu'on y fît les fabrications de bétons et de mortiers.

M. le colonel Émy dans son Mémoire sur le mouvement des ondes, publié en 1831, avait proposé aussi des *caissons-moules* construits à terre, mis à l'eau, transportés par mer et échoués.

On peut assimiler aux caissons foncés l'échouage de vaisseaux ou navires remplis de béton ou de maçonneries, procédé employé fréquemment par les Anciens pour la fondation de môles et de jetées, et renouvelé dans la construction de la célèbre digue de Richelieu. M. le colonel Émy a publié des détails intéressants sur ce dernier ouvrage, à la page 863 du Mémoire déjà cité.

M. l'Ingénieur Poirel, pour la restauration des môles d'Alger, s'est servi également de caissons échoués ; mais ces coffres portent un fond de toile goudronnée, d'une ampleur suffisante pour s'adapter sur toutes les sinuosités du fond, et leurs parois montantes sont garnies à l'intérieur de la même toile. Les extrémités inférieures de ces parois sont d'ailleurs découpées suivant les sinuosités du profil du sol sur lequel elles doivent être échouées. Figures 585 des planches.

Ces coffres forment ainsi un véritable sac de toile fortifié par des panneaux extérieurs en bois. Le fond en toile permet à la masse du béton de se mouler parfaitement sur le terrain. Le béton n'est au reste immergé qu'après l'échouage et la mise en place des caissons. Ceux-ci sont préparés sur un chantier, mis à l'eau, et remorqués par des pontons jusqu'à leur emplacement d'échouage. Cette dernière opération s'effectue en remplissant avec des poids de petites caisses vides ou pontons attachés aux bords supérieurs de la grande caisse.

M. l'Ingénieur Poirel dit avoir été conduit à adopter ce genre de caissons par l'emploi des sacs de béton que les Italiens appliquent à la fermeture d'ouvertures et d'affouillements sous l'eau. Le mortier qui suinte à travers les pores de la toile, lie entre eux tous les sacs cylindriques de béton qui ne forment bientôt plus qu'une seule masse compacte.

Ce système a, pour la rapidité d'exécution des travaux, tous les avantages des grands caissons foncés, et n'a pas les inconvénients d'exiger comme eux un dressement du sol, préalable à l'échouage. Il a sur les caissons non foncés, exécutés avec pilotis et palplanches, l'avantage de préserver le béton d'être délayé par les eaux de filtration agissant de bas en haut. On a vu précédemment, à l'occasion des fondations en béton des écluses de navigation intérieure, que M. l'Ingénieur Barré Saint-Venant avait déjà fait usage des toiles imperméables contre les sources de fond.

Les coffres à *fond de toile* construits par M. l'Ingénieur Poirel ont environ 5m,30 de largeur, 8m,50 de longueur, 3 mètres de hauteur moyenne, et contiennent au moins 127 mètres cubes de béton. Le mètre cube de cette maçonnerie immergée ne ressort à Alger qu'à 47 fr.

Les parois montantes de ces coffres peuvent resservir vingt fois moyennant quelques réparations, et une centaine de manœuvres en 28 heures de travail ont suffi pour concourir à la construction, la remorque, l'échouage et au remplissage d'un caisson.

M. l'Ingénieur Poirel a émis l'opinion que pour les fondations des grands

môles, il serait probablement avantageux de revenir au système des cônes de M. Decessart, en se bornant à donner à la charpente une résistance suffisante pour contenir des maçonneries en béton jusqu'à leur complet durcissement.

Maçonneries en béton dans les constructions émergées continuellement ou par intermittences.

L'emploi de massifs de béton, pour les constructions émergées aux basses mers, exige la double propriété dans cette matière de durcir *également* bien sans gerçures et *égrénements* quand elle est couverte et découverte par l'eau; de durcir *assez vite* pour qu'elle ne soit pas bouleversée par les vagues dans les marées montantes et descendantes. Les parois en bois provisionnelles doivent aussi être assez fortes pour résister à la violence de la mer qui peut se *manifester subitement.*

Le temps du travail est, pour les constructions en béton émergées, encore plus restreint que pour celles toujours immergées, et par conséquent, les difficultés de fabrication, de transport et d'immersion déjà signalées pour les massifs de béton immergés, seraient encore bien plus graves ici.

M. l'inspecteur général de Bérigny avait proposé ce système pour la muraille verticale de la digue de Cherbourg. Cet habile Ingénieur pensait que l'homogénéité d'une seule masse en béton préviendrait toutes les lézardes que les inégalités de tassement des parements et des noyaux produisent presque toujours dans les massifs de maçonneries *mixtes.*

Il avait indiqué pour l'exécution, des caisses en bois remplies de béton alignées sur les deux rives de la fondation, et équidistantes dans chaque ligne, qui devaient être autant de *gîtes* pour deux fortes semelles en bois parallèles à l'axe de la digue. Sur ces semelles devaient être dressées les fermes en charpente du coffrage, préparées et assemblées sur le chantier avant leur transport et leur mise en place. Cette charpente, bien liernée et consolidée par les moyens connus, ne devait être bordée qu'au fur et à mesure du remplissage en béton.

L'exécution était du reste projetée par parties, de manière qu'on n'eût entrepris à chaque reprise que la longueur dont on aurait pu élever la hauteur pendant la durée d'une morte eau et d'une vive eau consécutives.

En supposant que des lézardes se fussent manifestées sous les tassements inégaux des enrochements au-dessous, M. de Bérigny les aurait fait remplir

par des injections, après qu'elles auraient atteint leur maximum d'ouverture.

Ce système avait rencontré des objections fondées : sur les difficultés et lenteurs du levage des fermes en bois ; sur les avaries dont elles étaient susceptibles dans les gros temps ; sur les solutions de continuité qu'auraient déterminées, dans le massif, les pièces transversales destinées à empêcher la déformation des parois sous la poussée du béton encore fluide ; sur les difficultés de fabriquer à terre, transporter à la digue, à 4000 mèt. de distance, dans l'espace de 8 à 9 jours, un volume de 4000 mètres cubes de béton. Mais il a été écarté, principalement pour la digue de Cherbourg, par le doute où l'on était sur la proximité d'obtenir à prix modéré du béton très-hydraulique.

On a cru devoir néanmoins parler ici d'un mode de construction qui peut trouver son application dans d'autres localités et qui a pour lui l'expérience consommée de son auteur.

A la muraille en maçonnerie en exécution à la branche Est de la digue de Cherbourg, l'on a souvent, pour gagner du temps et se mettre plus tôt à couvert des chances d'avaries, substitué le béton aux maçonneries ordinaires en moellon et mortier du noyau de la muraille. Le béton est contenu sur les rives par les rangées de pierres de taille de parement en arrière desquels se trouve *une levée* d'environ un mètre de largeur en maçonnerie ordinaire. Les tassements différents de ces trois espèces de maçonneries dans les mêmes assises sont négligeables évidemment dans un ouvrage dont la base en enrochements éprouve déjà des affaissements variables de $0^m,16$ à un mètre dans les profils en long et en travers.

Maçonneries en mortier dans les ouvrages à la mer.

Les ouvrages en maçonnerie de mortier se prêtent à toutes les formes possibles de revêtements d'ouvrages à la mer. Mais les lits et joints, l'appareil des maçonneries, sont exposés ici à l'action des vagues, au choc des navires, à leur traction quand ils sont amarrés aux revêtements et qu'une cause quelconque, telle que le vent, les vagues, les courants, tend à les en éloigner.

Alors même que la mer est calme, son batillement à la surface des eaux et en dessous tend à ébranler la liaison des matériaux et à détacher le mortier intercalaire ; et dès que les vagues ont pu se faire jour dans

l'intérieur des massifs, elles y opèrent une dislocation progressive par leurs chocs, par leurs *succions* du dedans au dehors et par la poussée des eaux qu'elles y ont chassées en montant, et qui tendent à s'écouler quand les vagues s'abaissent. Les gaffes, les avirons des marins, dans les points d'accostage, sont une autre cause d'avaries.

Les divers motifs ci-dessus ont été allégués par des ingénieurs distingués, et notamment par feu M. Fouques-Duparc, en faveur des parements abruptes des maçonneries, et contre les talus de $\frac{1}{6}$ à $\frac{1}{5}$, qu'on est dans l'usage de donner à ces parements dans les constructions ordinaires.

Le choc des navires poussés par le vent se porte sur des surfaces de contact très-étroites, à raison des formes courbes de ces navires dans le sens longitudinal et dans le sens transversal; ce choc peut ainsi occasionner des séparations entre la zône frappée et les zônes voisines, et tendre à faire glisser ensuite et à faire pirouetter le massif détaché; dans le cas le moins défavorable, ce choc brisera les pierres de revêtement si elles sont médiocrement dures.

La traction des navires, sur les revêtements auxquels ils sont amarrés, peut aussi déterminer des effets analogues aux précédents, à moins que les maçonneries n'aient un grand excédant de stabilité, ou ne soient renforcées vis-à-vis les amarrages, ou à moins enfin que ces amarrages ne répartissent l'effort du navire dans deux sens orthogonaux sur un volume suffisant du massif.

Dans les localités sujettes aux marées, il faut de plus préserver le pied des revêtements de l'échouage des navires à basse mer. En effet, si l'assiette de fondation s'avance de beaucoup vers le large, et que les navires puissent s'y appuyer en échouant, les maçonneries sont exposées à des tassements fâcheux, à des tendances au pirouettement, et au moins à des dégradations graves dans les fondations. Si le fond est de la vase molle au pied des revêtements, l'échouage des navires peut encore avoir *indirectement* des effets fâcheux sur les fondations, en déplaçant une partie de l'appui que le fond procurait contre la tendance des fondations *à cheminer vers la mer.*

Les couronnements de revêtements qui servent à l'accostage, aux opérations de chargement et de déchargement, au dépôt temporaire de munitions d'un grand poids, réclament encore plus de solidité que ceux des quais de fleuves et rivières mentionnés dans la vingt-cinquième leçon;

ici des pierres d'un grand volume réunies par des artifices d'appareil sont indispensables. On leur a toutefois préféré dans quelques circonstances des compartiments en bois ou en fonte de fer, dont les cases étaient remplies d'un pavage maçonné.

Quelques constructeurs ont pensé que les *joints horizontaux*, placés sur le même niveau dans les maçonneries à la mer, étaient plus rapidement dégradés que si ces niveaux variaient par ressauts, parce que dans ce dernier cas l'effort des vagues à la même hauteur était *morcelé*, et que les mêmes lits horizontaux ne se trouvaient qu'en petit nombre exposés aux mêmes efforts. Appareil des assises.

D'autres, comme aux vieilles jetées du port de commerce de Cherbourg et aux murs de quai du port du Becquet, sur la côte Est de la rade, ont appareillé les pierres par *cours verticaux*.

D'autres ont disposé les blocs par assises inclinées à 45°, comme à la jetée exécutée par l'Ingénieur anglais Telford à Aberdeen en Écosse, et au débarcadère en maçonnerie de la ville de Port-Louis en rade de Lorient. Mais, ainsi que M. le colonel Émy le fait observer, le poids des matériaux et les frottements qui en résultent sont les meilleurs moyens d'assemblage des matériaux. Cet officier expérimenté recommande avec raison d'avoir des mortiers hydrauliques d'une grande énergie, et surtout d'un prompt durcissement, pour les revêtements à la mer; et d'éviter également des joints trop minces qui empêcheraient le jeu des affinités entre le mortier et les matériaux, et des joints trop épais qui donneraient de la prise à la corrosion et au choc de l'eau avant le durcissement des mortiers. On a déjà parlé d'ailleurs dans la dixième leçon, page 114, des ressauts, tenons, crans et autres artifices subsidiaires de liaison pour les ouvrages à la mer. Les figures 587 des planches représentent les plus simples et les plus usités. Figures 586 des planches. Figures 587 des planches.

M. le colonel Émy a observé dans beaucoup de revêtements *parementés* en pierres de taille, avec *panneresses ou carreaux* et *boutisses*, que, par suite de l'inégalité des tassements des parements en maçonneries intérieures en moellons, dans lesquelles les queues de boutisses étaient engagées, ces dernières prenaient la disposition en éventail indiquée dans la figure 588 des planches, dégageaient ainsi toutes les panneresses, et que les vagues pouvaient alors arracher ces dernières, soit par l'effet de *succion*, soit par le simple effet dynamique de l'eau entrée pendant la dernière oscillation ascendante de la vague, et qui en sort pendant la der- Figures 588 des planches.

nière oscillation descendante. Quelques boutisses sont même quelquefois rompues dans les zônes inférieures des revêtements.

On éviterait sans doute ces effets, soit : 1° en employant des blocs en parement d'un plus grand volume, et des boutisses ayant peu de saillie dans la maçonnerie intérieure du noyau ; 2° en plaçant à intervalles égaux en hauteur des plates-formes générales en *forts libages*, grossièrement essémillés, qui s'étendraient sur toute l'épaisseur, et formeraient comme un *grillage* en pierres : mais l'on augmenterait ainsi de beaucoup la dépense de construction.

M. le colonel Émy est arrivé au même but avec plus d'économie en *calant* toutes les queues des boutisses, depuis les fondations jusqu'au couronnement, par des dés en pierres de taille seulement essémillés dessus et dessous, exactement arrasés au même niveau que les assises auxquelles ils correspondaient; et pour répondre à l'objection que la maçonnerie de moellons comprise entre ces espèces de *contreforts* au *parement* n'aurait pas une largeur suffisante pour déterminer une bonne liaison, M. le colonel Émy conseille de disposer l'appareil de manière qu'il y ait dans le sens longitudinal au moins égalité entre les contreforts et les maçonneries intercalaires, c'est-à-dire de donner plus de longueur aux *panneresses* et de n'employer les boutisses que de deux en deux, comme dans la figures 589 des planches.

Figures 589 des planches.

Il faut du reste éviter que ces *dés* dépassent les queues des boutisses vers l'intérieur, parce qu'alors, indépendamment d'une consommation inutile de pierres, la queue des *cales* engagée dans les maçonneries du noyau, participerait à son tassement, ferait *lever* cette fois les queues des boutisses, les ferait sortir du parement, et provoquerait la prompte démolition des revêtements.

Figures 590 des planches.

Une des grandes difficultés des maçonneries en mortier dans les ouvrages à la mer, c'est de les garantir des effets des vagues dans les premiers temps et lorsque les mortiers n'ont pas encore durci. On cherche à y obvier en fractionnant le travail dans le sens de sa longueur, afin de pouvoir l'avancer plus rapidement en hauteur. On protége d'ailleurs les maçonneries fraîches par des rechargements en blocs amovibles portés par des plates-formes en bois également amovibles, et en jetant des enrochements au large des ouvrages.

A la muraille en exécution à la branche Est de la digue de Cherbourg,

M. l'Ingénieur Virla a pris pour resserrer le champ des avaries les dispositions suivantes, qui ont parfaitement réussi :

1° Des chaînes verticales en forts libages sont établies de 25 en 25 mètres en travers du massif des maçonneries ordinaires, et sur toute sa hauteur, et elles sont rejointoyées à l'extérieur en plâtres-ciments très-énergiques ;

2° Les nappes horizontales en maçonneries qui doivent rester longtemps exposées aux chances d'avaries, sont couronnées par un dallage de libages schisteux, noyés dans un bain de plâtres-ciments mélangé avec du sable ; les rejointoyements sont effectués avec le même genre de mortier.

Revêtements métalliques.

On renvoie à la vingt-cinquième leçon, page 27 à 30, pour les détails relatifs à ces revêtements, en rappelant que ce mode de construction, pratiqué en Angleterre sur une grande échelle, ne peut présenter d'avantages que dans les contrées où la fonte de fer est à très-bon marché, d'une excellente qualité, et pour des ouvrages qui ne seraient pas exposés aux chocs violents de corps solides ; que, même avec toutes ces conditions, ce système ne semble pas promettre la durée des constructions en maçonnerie de pierres dures, ni même celle du bois complétement immergé et préservé efficacement contre l'action des vers marins.

Configurations et formes générales des surfaces extérieures de revêtement d'ouvrages à la mer.

Configuration en longueur.

S'il n'y avait à considérer dans les configurations des revêtements que la stabilité des matériaux qui les composent, leur disposition en *longueur* devrait être celle que prendraient dans le même emplacement *ces mêmes matériaux isolés*. Ainsi, d'après les observations de M. Lamblardie père, déjà relatées, si la longueur de l'ouvrage était oblique relativement à la direction des vagues dans les tempêtes, et à celle des courants ; il faudrait disposer la ligne longitudinale de l'ouvrage exécuté avec des blocs de pierres, suivant une ligne polygonale ou une courbure plus ou moins concave. Mais ordinairement cet alignement est déterminé par une foule d'autres considérations prédominantes. Ainsi, pour résister plus effica-

cement à l'action *normale* des vagues, la direction de l'alignement devrait être, dans l'opinion de beaucoup d'Ingénieurs, convexe vers le large; d'autres, recherchant avant tout la facilité et l'économie d'exécution, préfèrent des alignements droits. La destination spéciale des ouvrages, des sujétions locales, la nature des *matériaux disponibles*, sont autant d'éléments de la question.

Quel que soit le tracé *général* des alignements des ouvrages, il est important d'éviter des angles brusques et surtout des angles rentrants, par rapport à la mer. Ainsi les enracinements des ouvrages dans les rives, les raccordements en longueur des divers alignements de développement longitudinal, doivent être adoucis par des formes curvilignes du plus grand rayon de courbure possible.

Configuration en hauteur

Une longue controverse s'agite encore sur la forme des parois ascendantes des revêtements à la mer. On l'a envisagée *d'une manière absolue* et comme la condition essentielle de la stabilité.

Ainsi les exemples nombreux de résistance et de durée des grands talus allongés des digues de la Hollande et de la Flandre, ont été invoqués par divers Ingénieurs pour généraliser partout cette forme extérieure des revêtements (voir le deuxième mémoire de M. Fazio et l'extrait traduit par M. le Moyneaux, *Annales des ponts et chaussées* de 1837). D'autres y ont opposé les avaries sans cesse renouvelées aux enrochements en gros blocs de la digue de Cherbourg et du breakwater de Plymouth, de la digue de garantie de Saint-Jean-de-Luz, de celle de Cadix, et ont cité en faveur des parois abruptes un grand nombre de constructions qui avaient résisté dans les mêmes parages ou dans des positions analogues, telles que :

Figures 546 des planches.

La digue d'enceinte de la Floride au Havre, le long de la Seine, exécutée en maçonnerie de mortier;

Figures 545 des planches.

La digue d'enceinte, à l'Est du nouveau bassin de flot, du port militaire de Cherbourg (en maçonnerie de mortier);

La digue de communication du fort du Homet (en maçonnerie de mortier), faisant face à la plaine vers le nord;

Figures 548 des planches.

Les jetées du port de commerce de Cherbourg (en maçonnerie de mortier);

Les jetées du port de Dielette qui ne sont même qu'en maçonnerie de pierres sèches;

Figures 550 des planches.

Le môle de Granville, en maçonnerie de mortier;

Le môle de Roscoff, en maçonnerie de pierres sèches; Figures 581 des planches

Les murazzi de Venise, et tous les môles tant anciens que modernes des ports de la Méditerranée; Figures 351 et 570 des planches

Enfin les jetées avec coffrages en charpente, tant anciennes que modernes, des ports de l'Océan.

La forme donnée par la mer elle-même aux côtes qu'elle corrode, aux matières qu'elle entasse, aux enrochements qu'elle dresse, a été considérée par d'autres constructeurs comme la seule appropriée aux constructions d'art. Cette forme, observée par M. Lamblardie père et signalée dans son Mémoire sur les côtes de la Haute-Normandie, ainsi qu'il a été dit précédemment, a été reconnue aussi par MM. les Ingénieurs Potel et Mary. Voir les *Annales des ponts et chaussées* de 1832), et par une foule d'autres personnes qui ont examiné les côtes schisteuses et granitiques de la Basse-Normandie et de la Bretagne. Elle est représentée par les figures 519 et 591 des planches. On voit qu'elle est *curviligne*, mais seulement au-dessus des hautes mers *calmes*, et qu'au-dessous de ce niveau, elle présente, suivant la nature des roches, des parois très-abruptes ou très-allongées. Figures 519 et 591 des planches.

Aux travaux d'enrochements qui eurent lieu pendant l'Empire à la partie centrale de la digue de Cherbourg sous la direction de MM. le baron Cachin et l'Ingénieur Duparc, on avait cru remarquer aussi que ces blocs se dressaient dans les tempêtes suivant une courbure cycloidale entre les niveaux des basses mers et des hautes mers, et l'on avait projeté le revêtissage définitif suivant cette *courbure de minimum* de frottement des *vagues* contre les blocs. Mais cette courbure était aussi celle qui favorisait l'ascension et le déferlement de vagues à la crête des ouvrages. D'ailleurs, telle courbure, convenable contre des tempêtes de *nord-est* en *morte eau*, n'était plus convenable pour d'autres tempêtes en *vive eau*, et *à fortiori* devait-elle différer de celle qui eût correspondu à des tempêtes de *nord* ou de *nord-ouest*, en *morte eau* ou *en vive eau*. Figures 591 des planches.

Enfin, M. le colonel Émy, attribuant aux *flots de fond*, dont l'existence est encore mise en doute aujourd'hui par un très-grand nombre d'Ingénieurs, tous les effets qui avaient été jusqu'ici attribués aux vagues et aux courants, a proposé la forme concave pour tous les ouvrages à la mer, quelles que fussent leur position, leur destination, la nature des matériaux à mettre en œuvre, pourvu toutefois qu'ils fussent exposés per-

pendiculairement ou obliquement à la marche des ondes et des vagues (1).

M. Émy place la naissance de la courbure non au *niveau des hautes mers calmes, mais au pied de l'ouvrage* même où elle doit être tangentielle aux talus du fond; cette courbure qui, pour l'uniformité et plus de facilité dans le travail, est en arc de cercle, se termine vers le haut par une paroi verticale et même surplombée vers le large.

Figures 593 des planches

Cet officier a fait exécuter 425 mètres courants de parements à la place de Saint-Martin à l'île de Ré, qui avaient parfaitement résisté pendant 10 ans, tandis que les parements plans des ouvrages primitifs avaient été ruinés. On peut citer à l'appui de cette configuration, les empattements du phare du Four en France, des phares d'Eddystone et de Bell-Rock en Angleterre, et un assez grand nombre de môles récemment exécutés dans les ports de la Grande-Bretagne.

Figures 591 des planches

M. l'Ingénieur Debaudre a adopté un profil analogue pour la reconstruction du môle de la Soccoa dans la baie de Saint-Jean-de-Luz.

Mais pour que des rapprochements et des comparaisons pussent conduire à des règles générales, il faudrait :

1° Que ces comparaisons eussent été faites sur les mêmes lieux, dans les mêmes circonstances de mer, pendant les mêmes périodes de temps;

2° Que les ouvrages de diverses formes extérieures fussent exécutés avec les mêmes espèces de matériaux, les mêmes artifices d'appareil, et surtout avec le même soin : sinon l'on risque d'attribuer à telle ou telle forme ce qui ne provient réellement que d'*une exécution meilleure*.

D'ailleurs, *dans la pratique*, soit que l'on considère les efforts exercés ou la résistance opposée, il est évident qu'une section polygonale présentant diverses inclinaisons, inscrite ou circonscrite à une section curviligne, doit se comporter à peu près comme cette dernière.

Plans inclinés allongés.

Les grands plans inclinés très-allongés sont, sans contredit, dit M. le colonel Émy, les surfaces qui présentent le moins d'obstacles à la mer, et ils éprouvent d'autant moins de dégradations que leurs pentes sont plus douces. Ces dégradations paraissent être du reste à leur maximum au *niveau des moindres hautes mers de morte eau*, dans les côtes sujettes aux marées. — Ces plans inclinés admettent aussi l'emploi des matériaux les moins dispendieux. M. Émy cite la plage artificielle de sable de Saint-

---

(1) S'ils y étaient parallèles, il faudrait préférer les surfaces planes abruptes.

Jean-de-Luz qui résiste très-bien sur une pente de 11 mètres de base pour un de hauteur équivalente à celle des plages naturelles de la même côte. Mais, d'un autre côté, on sait déjà que, par une sorte de compensation, les talus allongés élèvent à une plus grande hauteur le point culminant des vagues et leur font ainsi atteindre des points qu'elles n'eussent pas frappés.

D'ailleurs toutes les localités, tous les ouvrages ne comportent pas des pentes très-douces à raison des dépenses initiales des travaux et de la grande étendue de terrain qu'elles exigent.

La commission supérieure, qui, en 1792, avait eu à discuter le systeme de construction à adopter pour la digue de Cherbourg au-dessus du niveau des basses mers, *ayant fait abstraction à la vérité de l'action du vent et de celle des courants*, avait conclu que la pente de 7 mètres de base sur 2 de hauteur convenait à des talus formés avec des blocs d'enrochements de 20 à 25 pieds cubes (0^{mc},68 à 0^{mc},85), dont le talus naturel hors de l'eau eût été de 45 degrés. Un talus plus allongé eût combattu, dans l'opinion de la commission, la tendance des matériaux à redescendre avec les vagues, mais eût rendu aussi plus forte la poussée de l'eau qui, introduite avec la vague montante dans les vides des enrochements, eût, en sortant avec la vague descendante, déplacé les matériaux. Mais en rétablissant l'*action du vent et des courants*, qui s'exerce particulièrement entre les niveaux des basses et des hautes mers, on voit qu'on ne saurait induire de la résistance des talus à une pente déterminée au-dessous des basses mers, ce qu'elle serait au-dessus de ce niveau.

Les grands plans inclinés entre les niveaux des hautes et basses mers surmontés au-dessus du premier de ces niveaux d'une courbe cycloïdale, avaient réussi dans la Manche et dans l'île de Ré, et au nouveau brise-lame isolé de Cette, dans la Méditerranée.

Mais ces plans très-allongés sont construits en menus matériaux, et sur des plages susceptibles de *s'attérir naturellement*, ou *rendues telles par des ouvrages spéciaux*. Quant aux avaries éprouvées par les digues de Saint-Jean-de-Luz et de Cadix, on pense, comme M. le colonel Émy, qu'elles ont été dues principalement aux enrochements qui garnissaient leur pied, et dont les blocs enlevés et roulés par les tempêtes, agissaient comme de véritables béliers sur les parties supérieures abruptes. Figures 595 des planches

Parois abruptes.

Les parois abruptes planes exigent le minimum de terrain, exposent le minimum de surface à l'action des vagues; celles-ci, au lieu de déferler sur la rive, sont repoussées vers le large; mais ces parois éprouvent aussi le

maximum d'efforts sur chacune de leurs zônes à la hauteur à peu près du plan moyen des marées; de plus, les vagues raccourcies et réfléchies doivent agir avec plus de force au pied de ces parois et attaquer les fondations de proche en proche si elles ne sont pas très-résistantes.

Les parois concaves de M. le colonel Émy n'ont encore été établies que dans des localités où leurs fondations étaient peu au-dessus du niveau des basses mers. Cette forme, en supprimant les angles rentrants qui existent entre des parois verticales et les talus du fond, doit effectivement amortir les efforts des vagues et les répartir plus uniformément sur toute la surface des revêtements. M. Émy fait observer, de plus, avec raison que, dans des parements en pierres de taille, les blocs étant taillés et coupés en voussoirs comme dans une voûte, ne peuvent sortir de leur place même par la réaction des plus fortes percussions. Mais d'un autre côté, les formes courbes exigent plus de terrain, plus de dépenses de construction première, et sont d'une réparation plus difficile. Enfin, il y aurait à examiner s'il n'en coûterait pas moins, pour obtenir une résistance équivalente, d'employer des matériaux avec des formes planes, mais plus volumineux et mieux liés entre eux.

En résumé, dans chaque cas particulier, il faudrait se rendre compte :

1° De la direction générale des ouvrages relativement à celle des vagues et des courants dans les gros temps, afin de connaître si leur action tend principalement à frapper normalement les surfaces des revêtements ou à faire cheminer dans le sens longitudinal les matériaux qui auraient été détachés ;

2° De l'action des vagues sur la plage où l'ouvrage doit être exécuté, afin de connaître s'il y a tendance aux corrosions ou aux attérissements ;

3° Des matériaux disponibles à prix modéré dans la localité ;

4° Des surfaces de terrain dont on peut disposer pour l'assiette des ouvrages ;

5° Des conditions spéciales autres que celles de résistance aux vagues et aux courants, telles que conditions défensives, nautiques, commerciales, conditions de permanence ou de durée temporaire des ouvrages à faire ;

6° Des moyens *praticables* d'exécution et surtout d'entretien ;

7° Du prix initial des constructions et des réparations probables dans chacun des *modes possibles*.

C'est en pesant l'importance respective de ces divers éléments qu'on parviendra à la solution cherchée; et en appliquant une pareille analyse aux

ouvrages existants, on y trouverait probablement la justification de la plupart des modes divers d'exécution qu'une expérience *traditionnelle* a consacrés dans les diverses contrées maritimes.

Mode d'évaluation des efforts qu'auront à subir les ouvrages par l'action de la mer.

Dans l'appréciation des efforts produits par la mer contre les ouvrages qui y sont exposés, il faut évidemment se placer pour chaque cas dans les hypothèses les plus défavorables. Ainsi l'on supposera que les lames arrivent perpendiculairement à la direction des ouvrages, et qu'elles sont d'un côté au maximum de hauteur de l'oscillation ascendante dans les plus violentes tempêtes, et sur l'autre rive de l'ouvrage au maximum d'abaissement de l'*oscillation* descendante. La différence de hauteur entre ces deux points correspondra à la surface pressée; et le centre de poussée déterminera le bras de levier de l'effort exercé par les lames.

Mais, outre cet effort, il en est un autre qui provient du choc de la lame, et l'on a déjà dit qu'à Cherbourg il avait été trouvé équivalent à une charge de 3600 à 4000 kilog. par mètre quarré de surface choquée; ou à une hauteur d'eau permanente de $3^{m}.60$ à 4 mètres.

M. l'Ingénieur Virla, dans une note relative aux projets de la digue de Cherbourg, ne considérant que les *lames libres dans leurs mouvements et sans vitesse primordiale* provenant des courants ou de toute autre cause, faisait observer que : dans les lames la vitesse de l'eau s'accroît depuis le sommet jusqu'au niveau moyen; qu'elle diminue ensuite et devient nulle dans le point le plus bas, pour croître de nouveau dans le mouvement ascensionnel, atteindre son maximum au milieu de l'amplitude et se retrouver nulle au sommet.

La vitesse maximum dépendait alors uniquement de la hauteur verticale franchie par le liquide, et devait être égale à celle d'une masse quelconque tombant de cette hauteur. Par conséquent, appelant $2h$ l'amplitude totale d'une lame; sa hauteur au-dessus du niveau moyen sera h et sa plus grande vitesse $\sqrt{2hg}$. De sorte que dans les circonstances les plus favorables à son action, M. Virla assimilait l'effort de la lame contre une surface plane frappée directement à la pression d'une colonne d'eau ayant pour base la surface en question et pour hauteur celle due à la plus grande vitesse de l'eau ; il posait en conséquence

$$P = s \times h \times \pi \text{ (pesanteur spécifique de l'eau de mer).}$$

Mais si les lames sont animées en outre d'une vitesse générale de translation, cette évaluation serait insuffisante. Ainsi on a vu à la muraille en exécution à la digue de Cherbourg par des tempêtes de nord-est et de nord-ouest, la mer s'élancer en jets depuis 10 mètres jusqu'à 30 mètres de hauteur; ce serait donc d'après ces derniers chiffres qu'il faudrait alors apprécier la vitesse du choc des lames.

Toutefois, ce qui atténue cet énorme choc, c'est que, suivant l'observation faite par M. Fouques-Duparc, le parallélisme des vagues n'est jamais tel, qu'un ouvrage soit frappé instantanément sur toute son étendue et avec la même force. Les lames n'agissant d'abord que dans un espace assez resserré, leur action se propage ensuite à des distances plus ou moins grandes. Dès lors la partie la première attaquée d'un ouvrage trouve à ses extrémités des points d'appui qui ajoutent à sa résistance propre, et réciproquement, si la solidarité est suffisante, cette zône appuie ces mêmes points lorsque la lame en s'avançant vient les frapper à leur tour. Cette remarque explique comment les ouvrages dont la résistance contre l'action de la mer n'avait été calculée que dans l'hypothèse d'*un effort statique*, ont soutenu les efforts du choc des plus violentes tempêtes.

RÉSUMÉ DE LA TRENTE-CINQUIÈME LEÇON.

DES OUVRAGES TELS QUE LES ÉPIS, ENDIGUAGES, DESTINES A PRÉVENIR LES ALLUVIONS ET ATTÉRISSEMENTS. — DES JETÉES RIVERAINES DES CHENAUX D'ENTRÉE DES PORTS A MARÉE. — DES BRISE-LAMES ET MÔLES D'ABRITEMENT.

Des ouvrages destinés à prévenir les alluvions et les attérissements.

Ce qui a été dit dans la trente-et-unième leçon, pages 380 et 381, de 193 à 196, et dans la trente-deuxième leçon, pages 199 à 209; les notices données dans les trente-deuxième et trente-troisième leçons sur les ports à marées et sans marées, militaires et commerciaux; ont déjà fait connaître

que les dépôts d'alluvions aux atterages, à l'entrée et à l'intérieur des rades et des ports, provenaient de causes naturelles en quelque sorte insurmontables; étaient la source de dépenses onéreuses et incessantes; et devaient à la longue, à travers toutes les vicissitudes physiques et politiques d'un pays, compromettre et même anéantir l'existence de ces rades et ports.

Quand l'origine des *matériaux* des alluvions est sur les côtes, et qu'*elle est bien déterminée*, comme sur les côtes de la Manche, il ne serait pas physiquement impossible d'y remédier. Ainsi que feu M. Lamblardie père l'a fait observer, un mur de revêtement ou tout autre ouvrage de protection empêcherait l'action des vagues et des courants de saper le pied des falaises de la Haute-Normandie et d'en détacher les galets; mais l'énormité d'une pareille dépense ne permet pas de s'arrêter à de tels moyens.

Sur les côtes sablonneuses de l'Océan et de la Méditerranée, la mobilité des sables *au-dessus des eaux* peut être fixée par des ensemencements et des plantations déjà essayés avec succès dans le département des Landes et en Italie.

Mais lorsque les matériaux *des alluvions* proviennent du fond même de la mer ou des détritus de côtes éloignées, on n'a plus d'autres ressources que de *les dévier de leur route*, ou *d'en prévenir en partie le dépôt*, ou enfin *de les enlever*.

Ouvrages pour arrêter la marche des alluvions.

Ici, comme dans les fleuves et rivières, et par l'analogie *apparente* qui existe entre eux et les courants de flot et de jusant dans l'Océan et le courant littoral de la Méditerranée, on a été conduit à l'établissement d'épis saillants sur celles des côtes d'où les allnvions provenaient. L'analogie n'est qu'apparente, car le cours des fleuves est toujours dans le même sens; la vitesse des eaux dans le sens unique n'est *jamais anéantie*; les variations dans la hauteur des eaux y sont liées à des variations presque aussi grandes dans les vitesses, surtout dans les zônes supérieures du cours de ces fleuves; le batillage et les faibles ondulations des eaux des rivières n'ont aucun rapport avec les vagues de la mer, même dans un temps ordinaire. Enfin la mer n'est point contenue entre deux rives, qui se renvoient les eaux par *bricoles*; et l'effet d'un épi est insensible

sur la masse des eaux du flot et du jusant dans l'Océan, ou des eaux que le courant littoral met en mouvement dans la Méditerranée.

Les *épis saillants*, *considérés seulement comme moyens d'arrêt des matériaux des alluvions*, ne sont, sur les côtes comme sur les rives des fleuves, que des palliatifs d'une efficacité très-limitée. Dès que l'amoncellement des galets, sables et vases, dans l'angle rentrant de l'épi avec la côte, a dépassé la tête de cet ouvrage, ces matières recommencent à cheminer comme auparavant. De plus, ainsi que M. Lamblardie père l'avait déjà annoncé dans son Mémoire sur les côtes de la Haute-Normandie, ces épis, s'ils *déterminent une défense artificielle sur la plage en amont*, occasionnent à la fois *en aval* des dégradations qui s'étendent souvent sur une grande longueur, et dont la profondeur peut dépasser la naissance de l'épi. M. l'ingénieur Frissart, dans l'*Histoire du Havre*, page 117, confirme ce fait grave.

Quoi qu'il en soit, les épis continueront d'être employés sur les côtes, et ont été adoptés récemment encore aux approches du port de Dieppe, parce qu'ils développent un *estran artificiel* en avant des côtes naturelles, et parce qu'ils empêchent dans les tempêtes l'*arrivage simultané* de quantités de matières qui suffiraient pour obstruer en quelques jours l'*entrée d'un port*, et mettraient en défaut toutes les *ressources ordinaires*. Leur direction est ordinairement normale à la côte, ou plutôt à la route que suivent les alluvions. M. l'Ingénieur Brisson recommandait une direction normale aux courants de flot et de jusant, afin de retenir une plus grande quantité de matières sans augmenter les tournoiements à l'aval, et afin de résister également bien *dans les premiers temps* aux courants alternatifs de flot et de jusant dans l'Océan. Toutefois, dans l'*intérêt même de conservation des épis*, on cherche aussi à disposer leur tracé d'après la direction des coups de vent, de manière à ce que ces ouvrages éprouvent le moins possible de dégradations dans les gros temps.

Figures 596 des planches.

Les figures 596 des planches représentent l'ensemble des épis du Helder en Hollande, et ceux des attérages du Havre.

Les *matériaux des alluvions*, surtout les galets et les sables, ne se trouvant que dans les couches inférieures des eaux, les épis peuvent être, sur les côtes de l'Océan et de la Méditerranée, *submersibles* aux hautes mers, et se trouver en saillie, sinon à une hauteur constante au-dessus du fond, au moins à une hauteur décroissante depuis l'enracine-

ment insubmersible dans la côte jusqu'au-dessous du niveau des plus basses mers.

La multiplicité et la grande longueur des épis, les dégradations auxquelles ils sont exposés, leur *temps restreint d'utilité*, doivent faire restreindre aussi, autant que possible, leur profil transversal et les dépenses de leur construction.

A moins que ces ouvrages ne doivent servir à la fois de digues, de chemins ou de débarcadères à l'aval, leur forme transversale peut ne consister qu'en un *simple triangle*, et les matériaux les moins coûteux dans chaque localité sont les plus convenables.

Sur la côte nord du Havre, où les épis ont jusqu'à 60 mètres de longueur et sont construits en bois, on a simplifié de plus en plus leur canevas, et M. l'ingénieur Frissart est arrivé successivement aux formes indiquées dans les figures 596 des planches. Figures 596 des planches.

Mais pour prévenir les dégradations de la côte entre deux épis successifs, il indique des estacades en bois, les unes à pieux, exécutables à loisir, les autres *à patin*, qui sont applicables aux réparations urgentes. Figures 597 des planches

Les raccordements des épis avec la côte doivent être d'ailleurs arrondis suivant les principes généraux déjà exposés, pour former un enracinement *en talon*.

Les épis de 100 mètres de longueur, exécutés par M. l'ingénieur Potel à l'île de Ré, et qui ont été l'objet d'une notice fort intéressante, insérée par M. l'ingénieur Mary dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1832, présentent en plan et en coupe les formes et système de construction indiqués figures 598 des planches. On voit que le talus *à l'aval* du cours des alluvions est très-allongé, pour empêcher les dégradations que la chute des vagues déterminerait de ce côté, après qu'elles auraient gonflé et déversé sur le couronnement. Figures 598 des planches.

Le noyau de l'épi est en terre, ou rocaille, ou sable, revêtu d'une couche de terre glaise, dite *bris* ou *bricq*. Dans la partie la plus saillante de l'épi, vers le large, ce premier revêtissage n'est séparé des eaux que par un second en maçonnerie à pierres sèches, exécuté comme il est indiqué figures 599 des planches. Mais plus près de la rive, et dans la zône correspondante au niveau du plan moyen des marées et des hautes mers de morte eau, où la mer a le plus d'action, M. l'ingénieur Potel a recouvert la couche de *bris* par superposition successive : Figures 599 des planches.

1° D'une couche de paille ou roseau de 5 centimètres; 2° de deux couches

de fascines; 3° sur ces couches on a dressé des bandes verticales de tunages et clayonnages très-serrés, seulement à 0m,20 d'intervalle.

En Flandre ou en Hollande, où il s'agit d'arrêter seulement la marche des vases et des sables, et principalement pour exhausser une plage naturelle très-allongée, les épis, suivant leur importance, se classent :

Figures 600 des planches.

1° En *slyck-wangers* ou *amasseurs de boue*, qui, en travers, sont disposés suivant un arc de cercle de 2 à 3 mètres de corde, et de 0m,25 à 0m,30 de flèche, et sont formés d'un noyau de glaise, engagé dans la plage, et recouvert de fascines à plat; le tout est fixé au sol par des rangs de clayonnages (Voir figures 600 des planches);

Figures 601 des planches.

2° En *épis d'ensablement*, à section triangulaire, arrondis à leur tête, ou musoir vers le large, plus élevés que les précédents, ayant 6 mètres de largeur à la base, et 1m,25 de hauteur, non compris 0m,30 d'enracinement dans le sol. Ils se composent d'un noyau en terre glaise et de couches de fascines superposées, et placées en retraite les unes sur les autres, la tête en dehors. Le tout est lié au sol par des lignes de clayonnages; mais ici les cases entre les lignes de tunages sont remplies de blocaille pour être mieux défendues contre les paquets de mer;

Figures 602 des planches.

3° En *palhoolfd* ou *têtes à la mer*, qui ont jusqu'à 150 à 200 mètres de longueur, et sont composés d'une ou de plusieurs lignes de pieux presque *jointifs*. Ces pieux, de 4 à 5 mètres de longueur, s'élèvent à 1m,80 ou 2m,10 au-dessus de la plage, et sont reliés par des ventrières. Sur toute l'étendue de l'ouvrage et sur ses rives s'étend un fascinage à plat comme celui des *slyck-wangers*, afin d'éviter les affouillements.

Figures 603 des planches.

Sur un fond de roches, les moyens indiqués ci-dessus ne conviendraient pas évidemment, et alors il faudrait recourir aux maçonneries en pierres sèches, qu'on pourra disposer comme il est indiqué figures 603 des planches.

M. l'ingénieur Mary, dans la notice indiquée ci-dessus, recommande avec raison, lorsque plusieurs épis doivent être établis sur le même côté, de commencer le travail par celui qui est en aval, relativement au point de départ des matières alluvionnaires; et de ne procéder à celui qui est immédiatement en amont de lui, qu'après *que le premier* aura produit tout son effet; d'autant que la limite des dépôts obtenus déterminera la distance à laquelle les épis doivent être établis.

Ouvrages pour prévenir les dépôts d'alluvions.

Dans les attérages, rades et chenaux des ports, qui présentent, comme à Lorient, sur les rives à basse mer, de grandes lagunes sablonneuses ou vaseuses; on peut par des endiguages littoraux insubmersibles à haute mer, construits en matériaux à bas prix, et d'une durée limitée, remblayés en arrière avec les produits du curage local ou avec des terres, obtenir une vitesse plus grande de flot et de jusant dans les heures qui précèdent et suivent la haute mer. Car la diminution du volume d'eau *appelé du large*, est négligeable relativement à la masse totale des eaux en mouvement; tandis que la réduction de la section du débouché est très-notable, surtout à l'étale de haute mer, et produit ainsi une augmentation proportionnelle dans la vitesse. Figures 336 des planches.

Ces moyens ont réussi en Angleterre à l'embouchure du Wear, qui déversait ses eaux sur une plage alluvionnaire de sables et galets. Un barrage même s'était formé, que des bâtiments d'un tonnage un peu considérable ne pouvaient franchir qu'à haute mer. On a construit d'abord un endiguage au nord, puis un autre au sud, et l'énorme masse d'eau que la mer épanche dans le Wear, et qui remonte à plusieurs kilomètres en amont, ainsi resserrée au jusant, a produit une chasse qui a détruit la barre.

Ainsi qu'il a été déjà indiqué vingt-cinquième leçon, pages 45 et 46, les endiguages insubmersibles doivent être disposés de manière que l'eau qui, à chaque haute mer, couvrira les lagunes *submersibles*, sorte à marée baissante par les chenaux qu'on veut approfondir.

Suivant le niveau relatif des surfaces des lagunes et des marées, les quantités de troubles tenues en suspension par les couches du flot qui recouvrent les lagunes, les exigences de la navigation et les circonstances locales, on prendra l'un des partis suivants pour faire passer les eaux du flot sur les lagunes :

1° Faire entrer les eaux du flot dans les lagunes, comme au port de commerce de Lorient, par le même débouché que le jusant traverse, Figures 528, 529, 552 des planches.
c'est-à-dire à l'*origine amont* de la jonction des lagunes avec les chenaux. Ce moyen produira une accélération dans la vitesse du flot. Mais suivant la grandeur des chenaux, il pourra aussi en résulter une moindre ascension de l'eau sur les lagunes et des altérations dans le régime de l'*étale* et des courants;

2° Faire épancher dans les lagunes l'eau du flot directement, par *déversoirs d'un grand débouché* placé à l'origine *aval* des zônes de jonction de ces lagunes avec les rades ou chenaux *secondaires;*

3° Combiner ensemble ces deux modes d'introduction du flot dans les lagunes, de manière à déplacer les anciennes lignes de *faîte ou de partage* des eaux au profit des chenaux qu'on veut approfondir.

Les endiguages *submersibles* indiqués dans la vingt-cinquième leçon sont aussi susceptibles d'applications dans certaines rades foraines ou intérieures qui présentent des passes *principales et secondaires.* Ces endiguages, par leur direction, leur espacement, leur hauteur au-dessus des basses mers, devront toujours satisfaire à la condition de ne pas troubler essentiellement la marche *du flot* dans les passes secondaires, tout en portant une plus forte partie des eaux du *jusant* dans les passes principales. Il sera prudent d'effectuer toujours des essais préalables. Quelques lignes de pieux, établies à faux frais suivant diverses directions, donneront des aperçus sur le tracé le plus convenable pour les digues submersibles *définitives.* Ces digues elles-mêmes devraient être construites sur les dimensions minimum de longueur et de hauteur; et progressivement, par voie d'expérimentation, on parviendrait à régler leurs dimensions permanentes.

Il n'y a encore que peu de faits recueillis sur cette matière épineuse; et ce n'est que depuis peu d'années qu'on a reconnu que des endiguements de lagunes, des barrages de chenaux et de criques, conçus et exécutés dans des vues d'amélioration de la navigation, de desséchements au profit de l'agriculture, avaient eu une influence funeste sur le régime local des marées, la marche des alluvions, sur des atterrissements dans des ports voisins, et même sur la navigation de cabotage.

On parlera plus bas, dans une autre leçon, des moyens employés pour enlever les dépôts *alluvionnaires* déjà formés.

Des jetées riveraines aux chenaux d'entrée des ports à marées.

D'après les principes exposés dans la trente-unième leçon, pages 178 et 179, l'entrée des ports, indépendamment de toutes considérations de défense militaire, a besoin d'être rétrécie autant que le permettront les besoins de la navigation, moins pour atténuer l'effet direct du vent sur la nappe d'eau intérieure d'un port, que pour amortir la propaga-

tion de l'agitation extérieure de la mer. C'est le résultat cherché dans tous les ports *sans marées* par les môles d'abritement, dont il sera question ultérieurement.

Mais dans les *ports à marées*, où souvent les directions du flot et du jusant sont opposées à celles des vents favorables à l'appareillage ou au retour des navires, il faut pourvoir en outre à cette circonstance par le halage ou le *touage*. De là l'établissement de *chemins insubmersibles* s'avançant en mer, tantôt sur une seule rive de la route des navires, tantôt sur les deux. Ce sont ces chemins qui ont pris le nom de *jetées*.

Les premières n'étaient que de simples passerelles insubmersibles en bois, dont on garantissait les parties immergées par un bordé contre les chocs des navires, les courants de flot et de jusant, et contre les effets de la mer.

La tête de ces jetées était d'ailleurs élargie et arrondie en *musoir*, et placée à un niveau plus élevé de $0^m,60$ à 1 mètre que le reste de la longueur dans le triple but : de procurer plus d'espace aux marins dans les tempêtes, et pour le sauvetage de navires *affalés*; d'opposer une plus grande résistance à la mer; et d'y pouvoir établir des feux de port ou des batteries défensives.

Dans un port où les eaux ne sont point chargées de troubles, où le sol résiste à l'action des courants de flot et de jusant et aux vagues, le tracé des jetées, leur disposition et espacement dépendraient principalement de considérations nautiques et commerciales telles que : le tonnage et la destination de la pluralité des navires entrants et sortants; la direction des vents régnants et des coups de vent, celle des courants de flot et de jusant aux attérages des ports; secondairement, du plus ou moins de facilité d'exécution et du plus ou moins de durée des jetées elles-mêmes.

On peut lire dans les œuvres de Décessart, dans les Mémoires de MM. Lamblardie père et fils, et dans l'*Histoire du Havre* par M. l'ingénieur Frissart, la diversité des opinions émises sur le mérite nautique des nombreux tracés d'entrée et de jetées proposés pour les ports du Havre et de Dieppe.

Ainsi on avait projeté au Havre des tracés curvilignes ou polygonaux, dans la supposition qu'ils contribueraient à diminuer l'agitation de la mer dans le port lors des gros temps. D'autres voulaient pratiquer l'entrée presque perpendiculairement à la direction des vents régnants et à

Figures 546 des planches

celle du chenal existant. Tantôt on allongeait la jetée du nord, tantôt celle du sud. Aujourd'hui la jetée du nord du côté des alluvions s'avance en mer à 240 mètres plus loin que la tête de la jetée du sud.

Quelques auteurs ont recommandé de diriger l'entrée d'un chenal vers le large, sous un angle d'environ 67° avec la direction des vents dominants, parce qu'un bâtiment ne pourrait avancer contre le vent avec une obliquité moindre. D'autres ont indiqué un angle de 10 à 15° comme le plus convenable entre l'axe des jetées et la direction du vent dans les gros temps. Aux jetées de l'embouchure de l'Adour, à la barre de Bayonne, cet angle est de 12°.

Figures 524 et 548 des planches.

Au port de commerce de Cherbourg, ouvert au Nord, où les vents régnants sont ceux du sud, sud-ouest et ouest, et où les gros temps correspondent aux aires de vents comprises entre le nord-ouest et le nord-est en passant par le nord, les jetées parallèles entre elles ont été dirigées vers le nord. Mais la nouvelle jetée de l'ouest, dont le musoir de tête ne devait être, d'après les vues de la commission de 1792, que de 146 mètres en arrière du musoir de la nouvelle jetée de l'Est, a été définitivement arrêtée à 250 mètres en deçà par le motif suivant. La pluralité des navires appareillant vers l'*ouest*, et souvent au nombre de 60 à 80 en une seule marée, et les brises du nord-est étant plus fréquentes et plus tenaces que celles du nord-ouest, il fallait éviter de restreindre le nombre des bâtiments appareillant *simultanément*, ou que ces navires, après avoir dépassé le musoir de la jetée Est qui les abritait jusque-là, ne vinssent tomber sur celui de la jetée ouest.

Figures du n° 534 au n° 570 des planches.

L'inspection des plans des divers ports fait voir que la plupart sont ouverts aux vents qui soufflent dans les gros temps, ou aux vents régnants.

Diverses fonctions et tracé des jetées.

Les jetées acquièrent un nouveau degré d'utilité à l'entrée des ports dont le fond est susceptible d'être entamé par les courants de flot et de jusant et par les vagues, et où le *thalweg* ne serait sans elles jamais stable. Le resserrement des eaux dans un canal invariable contribue à son approfondissement. Toutefois ici, comme aux embouchures des rivières, les déviations du thalweg reparaîtront au delà des jetées.

Enfin, et c'est là le cas le plus fréquent dans les ports de la Manche, et le plus compliqué, les jetées sont appelées à faire fonctions

1° D'endiguages destinés à diminuer les dépôts des troubles tenus en suspension dans l'eau;

2° D'épis saillants qui arrêtent le cheminement des alluvions le long des côtes.

Comme les épis ordinaires, les jetées ne sont alors que des palliatifs, ainsi que l'attestent les jetées de Dunkerque, de Dieppe, du Havre, dont le prolongement progressif, très-coûteux, fâcheux sous le point de vue nautique, ne ferait que retarder le comblement des ports, si l'action des chasses artificielles, et surtout celle du curage, ne venaient s'y joindre.

Le tracé des jetées servant à la fois de môles d'abritement, de chemins de halage ou de touage, d'endiguages et d'épis, est une des questions épineuses de l'art de l'ingénieur. Les coudes prononcés, les angles saillants dans l'intérieur des chenaux sont repoussés par toutes les conditions de la question. Mais souvent la direction qui serait la meilleure sous le rapport *nautique* serait précisément celle qui favoriserait l'introduction et le dépôt dans le chenal des matières alluvionnaires. Un alignement rectiligne est le plus convenable pour le touage et l'appareillage; mais l'expérience a prouvé qu'il ôtait aux courants de jusant et à ceux des chasses artificielles qui s'y joignent, une grande partie de leur action sur les *pouliers* de galets et de sable qui ont dépassé les têtes des jetées.

Feu M. Lamblardie père, dans son *Mémoire sur les côtes de la Haute-Normandie*, prescrivait pour l'intérieur de la jetée, du côté d'où viennent les alluvions, une *courbure convexe* vers l'axe du chenal, pour que les courants indiqués ci-dessus, au lieu de glisser sur les pouliers, les entamassent. Cette courbure a été récemment adoptée pour le prolongement des jetées du port de Dieppe. Figures 604 des planches. Figures 534 des planches.

Le parallélisme, et même la divergence des jetées vers le large, ont été adoptés dans un grand nombre de ports. Au même port de Dieppe, on a préféré la convergence pour les nouveaux prolongements, et toujours dans le but de renforcer l'action des chasses naturelles et artificielles.

Enfin, telle direction de jetées qui satisfait le mieux à toutes les conditions locales, expose ces ouvrages eux-mêmes à toute la violence de la mer, rend leur construction plus difficile et plus dispendieuse, leurs réparations plus fréquentes, et fait acheter ainsi à un prix plus élevé les avantages cherchés.

Les jetées les *plus saillantes* s'avancent en mer jusqu'à la ligne des basses mers de vive eau ordinaire et même d'équinoxes. Au delà, la dépense de leur établissement et de leur entretien croîtrait bien plus rapidement que leur utilité pour la navigation.

Mais la *quotité* de la différence de saillie des deux jetées vers le large, le sens de cette différence, ne peuvent être fixés d'une manière absolue, et dépendent des circonstances locales. Seulement il est évident que, dans les ports sujets aux alluvions, la jetée du côté d'où elles arrivent doit être la plus saillante des deux, sauf à suppléer par des corps morts, meules et bouées d'amarrage à la moindre saillie de la jetée de l'autre rive du chenal.

On reconnaîtra par ce qui précède qu'il est impossible de poser des principes généraux pour le tracé et la disposition des jetées. Dans chaque localité il faudra étudier avec soin le programme des conditions à remplir, et surtout s'entourer des avis des armateurs, pilotes et hommes de mer expérimentés.

Débouché des passes d'entrée.

On a vu, par la description et les plans des principaux ports, que le débouché des passes varie depuis 20 mètres jusqu'à 80 mètres. Il dépend de la grandeur des navires *admissibles* dans chaque port, de leur affluence à certaines époques, de leur largeur au maître bau, ou plutôt de la saillie de leurs *vergues* au delà de chaque bord. L'appendice n° 4 du tome II présente les tableaux des dimensions principales des bâtiments de guerre, des bâtiments marchands et des bateaux à vapeur.

40 à 50 mètres de débouché suffisent pour les ports marchands; 60 à 90 mètres seront nécessaires pour les ports exclusivement militaires ou *mixtes*. On se donne ordinairement pour règle qu'il y ait passage simultané et *de front* pour trois navires sous voiles de la grandeur la plus habituelle dans la localité.

Submersibilité ou insubmersibilité du dessus des jetées

A l'origine, et pour des motifs d'économie, on s'était borné dans les ports à n'établir qu'une seule jetée insubmersible, et sur la rive du chenal, située du côté d'où venaient les alluvions; sur l'autre rive une jetée *basse* submersible s'arrêtait au niveau des basses mers de moindre morte eau; cela avait paru suffisant pour guider les eaux du jusant et des chasses. Mais d'abord par cette disposition le chenal n'était pas abrité contre les tempêtes de ce côté; bien plus, la jetée basse augmentait à haute mer le ressac et l'agitation. Le touage devenait impossible en cas de réparations de la jetée unique, ou quand le gros temps en interdisait le parcours. Les jetées basses, même *balisées*, étaient la nuit une sorte d'écueil placé sur la route des navires. Enfin, elles facilitaient jusqu'à un certain point le retour dans la passe des alluvions qui en avaient dépassé l'entrée, particulièrement dans les ports où le flot arrivait du côté des *jetées basses*, et

surtout lorsqu'il y avait une *saute* de vent subite dans la même direction.

La plupart des jetées basses ont été surmontées depuis par des reliefs insubmersibles, dont elles sont devenues les *risbermes* ou radiers de défense.

Le dessus des jetées insubmersibles doit être au moins à 1 mètre au-dessus du niveau des hautes mers d'équinoxe; et cette dimension, suivant l'agitation de la mer dans la localité, pourra être portée jusqu'à 2 et même 3 mètres. La plate-forme du musoir, ou tête de la jetée vers le large, est toujours d'ailleurs établie plus haut, ainsi qu'il a été dit ci-dessus. Il est oiseux de recommander que des moyens d'écoulement d'eaux pluviales et autres soient réservés sur le dessus des jetées.

Continuité ou discontinuité des jetées.

Les jetées, si elles ne servent que de chemins de halage, peuvent, sans inconvénients graves, présenter dans beaucoup de ports une succession de pleins et de vides. Seulement, suivant l'agitation de la mer et le genre de construction adopté, il pourra être plus économique de n'avoir point de vides.

Coupures dites claire-voies.

Mais lorsque le chenal est ouvert à la mer dans les gros temps, et que l'agitation en rendrait le trajet difficile, feu M. Lamblardie père recommande de ménager dans les jetées, de distance en distance, des coupures dites *claire-voies*, en arrière desquelles soient des enceintes d'eau tranquille, dont le fond et les parois d'entourage soient dressés en plans inclinés très-allongés. Les plans du port de la Manche en représentent plusieurs. Quand cela est praticable, les coupures de l'une des jetées correspondent aux pleins de la jetée opposée. Des *passerelles* ou *tillacs* pour le halage franchissent ces coupures, qui sont quelquefois aussi fort utiles pour *cantonner* les alluvions.

Figures 534, 537, 543, 545 et 546 des planches

Les jetées servant à la fois de chemins de halage et d'endiguages riverains doivent, sauf les coupures à *claire-voie*, être continues comme les jetées basses, au moins jusqu'au niveau des basses mers de moindre morte eau. Au-dessus de ce niveau, l'option entre une surface pleine et continue, et une succession de pleins et de vides, dépend principalement du genre de construction et des chances d'avaries.

Mais lorsque les jetées forment *épis*, elles sont évidemment continues, au moins jusqu'au-dessus du niveau qu'atteignent les amas d'alluvions. Dans ce cas, la jetée de la rive opposée aux alluvions pourrait, suivant les localités, être pleine et continue, ou formée de pleins et de vides; car

si la continuité tend à resserrer les courants de jusant et des chasses artificielles, elle empêche aussi les vagues d'agir sur le fond du chenal et d'en *labourer* les atterrissements. L'on serait conduit par cette considération à la fermeture facultative des pertuis réservés.

Section transversale des jetées.

Le profil transversal des jetées, dans l'intérêt de la navigation, doit présenter vers l'intérieur de la passe des parois aussi abruptes que possible d'après le genre de construction adopté; les échouages en seront moins à craindre et le touage sera plus facile. Des parapets de 0m,80 de hauteur au moins, et auxquels on a donné jusqu'à 2 et 3 mètres, sont nécessaires sur les deux rives pour prévenir les accidents et la chute des paquets d'eau de mer sur la plate-forme. Une ligne de poteaux en bois, ou mieux encore de canons en fonte de fer, équidistants d'environ 20 à 30 mètres, doit être établie dans l'axe longitudinal des jetées pour les amarrages et retours d'*embraquement*. Le débouché libre entre les parapets ne saurait guère être au-dessous de 2 mètres, indépendamment de toute considération de résistance. Les dimensions, sous ce dernier rapport, seront calculées du reste d'après les bases posées dans les trente-deuxième et trente-quatrième leçons, pages 201 et 202, 295 et 296.

Les jetées exécutées varient depuis 3m,00 jusqu'à 11 mètres de largeur de dehors en dehors.

Si ces constructions devaient servir aussi à l'accostage des navires, et à des opérations de chargement et de déchargement, la largeur de leurs terre-pleins serait réglée d'après ces nouvelles destinations, et serait au moins de 8 mètres. Dans ce même cas, les parois des jetées du côté du chenal présenteraient comme les quais des ports; des masques de défense en bois; des boucles d'amarrage au niveau des hautes mers de vive eau, espacées de 20 à 30 mét. et rabattues dans des enclaves; des escaliers et rampes de descente dirigées parallèlement à la longueur des jetées, et en arrière du nu de leurs parements. Enfin la plate-forme serait munie de distance en distance de *bigues* ou grues de déchargement.

Dans *tous les cas*, les parois intérieures et extérieures devront avoir, au moins de 50 mètres en 50 mètres, des échelles verticales de *sauvetage* refouillées dans les parements. Les échelons sont ordinairement en cuivre rond forgé.

Musoirs des jetées

L'excédant de largeur de la plate-forme des musoirs sur celle des jetées a été tantôt réparti symétriquement à droite et à gauche de l'axe des jetées, tantôt reporté tout entier en dedans du chenal ou en dehors.

Cette dernière disposition est la meilleure pour le touage, si l'on a soin d'effectuer le raccordement par des courbes allongées. La largeur des musoirs en dedans des parapets, à moins de sujétions spéciales, est d'ordinaire de 7 à 8 mètres; et leur longueur dans l'axe est de 25 mètres au moins.

Système de construction des jetées.

Dans le choix du système de construction des jetées, il faut se rappeler d'abord leur destination, puis remarquer que les musoirs et les zones intérieures de ces ouvrages ne sont pas *également* exposés aux attaques de la mer; que celle des deux jetées qui est du côté des tempêtes habituelles sert de môle d'abri à l'autre; que les alluvions qui s'amoncèlent sur les flancs extérieurs des jetées formant épis, les protégent contre la mer; enfin que ces ouvrages sont susceptibles d'être fondés à basse mer. D'ailleurs l'action sur le fond du chenal des courants de flot et de jusant et des chasses artificielles, celle des vagues dans les gros temps, doivent être prévues.

Les considérations présentées dans la trente-quatrième leçon, la nature du sol, l'abondance et le bas prix de telle ou telle espèce de matériaux, les fonds alloués, les limites de temps et d'exécution et de durée des ouvrages, les facilités d'entretien et de grosses réparations, les conséquences plus ou moins graves pour la navigation des avaries qui interrompraient le service des jetées, sont les éléments principaux du choix dont il s'agit.

Les jetées les plus anciennement connues paraissent être celles en enrochements, en fascinages, en coffrages de charpente. On a exécuté ensuite des jetées en maçonnerie de pierres sèches, et les jetées en maçonnerie de mortier hydraulique ont été le terme le plus élevé de cette progression.

On cite parmi les jetées en enrochements celles qui avaient été exécutées à Ostende par M. l'ingénieur Raffeneau de l'Isle, sans cadres en charpente, avec talus extérieurs de 3 mètres de base pour 1 de hauteur, et qui subsistaient encore 26 ans après. Ce mode qui est représenté figures 605 des planches, a été appliqué assez récemment à la nouvelle jetée du sud-ouest du port de Boulogne, mais sans y obtenir le même succès. A mesure que le massif d'enrochements s'élevait au-dessus des eaux, il éprouvait des avaries qui, dans la saison des tempêtes, se succédaient sans interruption, en faisant disparaître les matériaux dans les affouillements au pied des jetées (*Moniteur* du 3 avril 1835). Cette circonstance, et la difficulté d'ob- Figures 605 des planches.

tenir des pierres d'un volume suffisant, ont déterminé à exécuter toute la longueur de la jetée à claire-voie; le radier et le risberme ont été formés par les parties inférieures des enrochements subsistants.

Les jetées en fascinages ont été autrefois très-employées dans la Flandre et la Hollande, par suite de l'abondance des matériaux élémentaires. Les figures 579 des planches représentent une ancienne jetée du port de Dunkerque. Le chemin de halage y est en saillie, et une large risberme de défense anticipe sur le chenal. Ces dispositions sont fort défectueuses. Les figures 606 des planches indiquent les jetées du nouveau port de Nieuwendiep ou du Helder en Hollande.

Figures 579 des planches

Figures 606 des planches

Les jetées en charpente, suivant leurs fonctions, ne sont que des passerelles en bois avec radiers généraux sur les fonds affouillables, telles que celles des figures 607 des planches; ou des coffrages remplis sur tout ou partie de leur hauteur.

Figures 607 des planches.

Le profil transversal des fermes doit présenter un canevas décomposé en triangles; et les fermes sont reliées longitudinalement par des cours de ventrières, ou de moises et par quelques pièces en écharpe. Le bord des parois du coffrage a été placé dans quelques jetées à l'intérieur, dans d'autres à l'extérieur; et dans les ouvrages les plus récents on a bordé à la fois au dehors en surface lisse et pleine, et en dedans avec madriers séparés par des *mailles*.

Suivant la nature du sol, les jetées reposent directement sur le sol, au préalable refouillé, ou sur un grillage simple en charpente avec bordé, ou sur grillage avec pilotis et bordé.

Les fig. 608 des planches représentent plusieurs anciennes jetées en charpente de Dunkerque, les jetées de Calais, celles de Tréport; celles de Dieppe, exécutées par M. l'ingénieur Tarbé de Vauxclairs, aujourd'hui Inspecteur général des ponts et chaussées; les jetées construites à Ambleteuse et à l'embouchure de l'Adour par M. l'ingénieur Debaudre; enfin des projets de jetées faits pour le Havre.

Figures 608 des planches

On remarquera dans quelques-uns de ces ouvrages une crèche extérieure en palplanches jointives, ayant pour objet de prévenir les affouillements dans un fond sablonneux ou vasard. Dans quelques autres, les risbermes ont une saillie beaucoup trop considérable, qui rétrécit le débouché de la passe, forme écueil pour les navires, et augmente l'agitation dans les gros temps.

L'intérieur des coffrages est rempli de moellons, rocaille ou terre argileuse, et même de paille, de roseaux ou de *varech*. Il est évident qu'on pourrait y substituer avec avantage du béton ou de la maçonnerie de mortier hydraulique. Mais une jetée faite *à priori* en maçonnerie serait préférable, à raison de la solution de continuité que les fermes en charpente produiraient.

Les jetées en maçonnerie à mortier hydraulique sont maintenant adoptées de préférence pour les ports de quelque importance, et lorsque les matériaux ne sont pas à un prix exorbitant. On a du reste reconnu au Havre que les parties des jetées exposées au batillage des vagues et au frottement des galets ne pouvaient être revêtues qu'en granit, et que les pierres calcaires y étaient usées avec une grande rapidité.

Les jetées discontinues en maçonnerie sont faites comme les ponts en charpente, avec piles en pierre; et les jetées continues sont des terre-pleins avec quais le long des rives. Les parements, pour opposer une résistance uniforme à la mer, sont exécutés en pierre de taille dans les zones intérieures et extérieures les plus exposées. Tout ce qui a été dit sur les fondations des ponts et des quais s'applique aux jetées; seulement les *radiers-risbermes*, dans les *coupures à claire-voie*, ayant à résister dans deux sens différents aux courants des marées et à l'action des vagues, exigent ici plus de soins que les radiers généraux des ponts. Une enceinte de palplanches est d'ailleurs préférable à une risberme en saillie.

Lorsque les jetées en maçonnerie sont à leur minimum de largeur transversale, on ne saurait hésiter à les exécuter en un seul massif. Mais si cette largeur excède 6 mètres, on forme la jetée de deux murs distincts, reliés de distance en distance par des murs de refend ou contre-forts. Les cases intérieures sont remplies en terre glaise bien battue, que l'on couronne au niveau de la plate-forme de la jetée par un pavage épais en maçonnerie hydraulique. Sans cette précaution les eaux de pluie et celles projetées par les *paquets* de lames à haute mer, pénétreraient dans les massifs et y détermineraient des poussées du dedans au dehors, ou des vides dans le noyau de remplissage, ainsi qu'il est arrivé il y a quelques années lors de la construction de la jetée neuve de l'Est du port de commerce de Cherbourg.

Les figures 609 des planches représentent les célèbres jetées de l'Adour, celles nord et sud du port du Havre; le mur d'enceinte de la Floride, au Figures 609 des planches.

même port, qui est assimilable aux jetées, enfin les jetées récemment exécutées à Cherbourg par MM. les ingénieurs Leroux et Virla.

La liaison des parapets aux murs des jetées du Havre a été faite avec beaucoup de soin par M. l'ingénieur Frissart. Il conseille de placer le nu des parapets du côté du chenal au moins de 0m,20 en arrière du nu des parements des murs inférieurs, pour prévenir les dégradations par le choc des navires.

On fait remarquer que le plan de fondation des jetées du Havre et du mur d'enceinte de la Floride est à environ 0m,60 en contre-bas des basses mers d'équinoxe; cette côte est de 0m,85 aux nouvelles jetées du port de commerce de Cherbourg, fondées sur un massif de béton reposant sur le sable.

Au mur d'enceinte de la Floride, la maçonnerie dans le sens vertical est subdivisée par des plates-formes horizontales en pierres de taille ou en libages essémillés, qui ont eu évidemment pour objet de préserver des atteintes de la mer les diverses couches de maçonnerie immédiatement après leur pose.

La construction des jetées, surtout dans leurs zônes inférieures, est un travail de marées dans lequel il faut tout sacrifier à la rapidité d'exécution, et dans un but final d'économie. Tous les matériaux doivent être prêts pour la pose avant qu'on n'y mette la main.

La régularité et la précision des moteurs inorganiques s'accordent mal avec les exigences si variables et si brusques des fondations à la marée; on est donc forcé de recourir exclusivement à la force brute des hommes, ou à celle des animaux, dont l'intensité se modifie presque instantanément.

Les épuisements, surtout pour les fouilles et l'exécution des encaissements de fondations, doivent être sur une grande échelle et pourvus de nombreux rechanges et relais; sinon il arrivera ce qui n'est que trop souvent arrivé, que les épuisements terminés, il reste à peine quelques instants pour le travail principal, lequel est alors ajourné au moins à quinze jours et quelquefois à plus d'un mois, suivant les circonstances des marées et du temps.

On rappelle d'ailleurs ce qui a été dit à la trente-quatrième leçon, pages 285 et 289, sur les conditions de réussite des ouvrages de maçonnerie à la mer; et qu'il est préférable de s'arrêter aux assises inférieures quand on ne peut atteindre rapidement et dans la belle saison le couronnement de l'ouvrage, plutôt que de s'élever au niveau du plan moyen des

marées et des hautes mers de morte-eau où les chances d'avaries sont le plus redoutables.

Lorsqu'une enceinte ou crête de palplanches doit envelopper la fondation; on commence par la former avant d'entreprendre la tranchée, dont les rives sont plus tard soutenues par ce coffrage en bois. A défaut de cet appui, on pratique les fouilles en gradins. Aux travaux de fondations actuellement en exécution au port de commerce de Cherbourg, pour les murs de raccordement avec la jetée de l'ouest, on a été forcé de revêtir les gradins coupés dans le sable fluent du sol, par des piquets et des branches de fougères, d'ajoncs, ou par des piquets et planches en dedans desquels on garnissait en terre glaise.

A ces mêmes travaux, on s'est servi avec le plus grand succès de vieilles toiles ou de paillassons chargés par des saumons de fonte de fer, pour recouvrir, pendant l'hiver de 1838 à 1839, les surfaces des massifs de fondations de béton pendant leur durcissement et pour prévenir leur délavage par la mer. Le fond de la tranchée était également recouvert de toiles partout où il y avait des sources de fond qui auraient soulevé le béton de bas en haut ou se seraient frayé un passage à travers.

Jetées basses ou submersibles.

Les jetées basses ou submersibles sont exécutées comme les radiers et risbermes des jetées submersibles. Ainsi qu'il a été dit, leur dessus ne dépasse pas ordinairement le niveau des hautes mers de morte-eau. Les avaries en cas d'échouage étant d'autant plus dangereuses pour les navires, que la jetée basse est *plus étroite;* celle-ci, quand les circonstances locales s'y prêtent, et qu'il n'y a pas de retours d'alluvions à craindre, ne doit être en quelque sorte que le soutènement vers le chenal d'une grande plage artificielle riveraine. Par les mêmes considérations, le mode de construction des jetées basses le plus compressible et le plus élastique est le meilleur. On les exécute ordinairement en fascinages, ou en coffrages de bois recouverts d'un bordé, ou en combinant ces deux genres de constructions.

Figures 610 des planches.

Les figures 610 en planches en fournissent plusieurs exemples : on y a compris les jetées basses du Helder en Hollande.

Claires-voies avec brise-lames en arrière.

Les enceintes en arrière des claires-voies ou coupures ménagées dans les jetées, ayant pour objet d'amortir les vagues en leur ouvrant une grande étendue pour se développer, doivent présenter leur plus grande dimension dans le sens transversal à l'axe du chenal; leur fond et leurs rives doivent être des plans inclinés très-doux ; on en a fait de 17 de base sur 1 de hauteur.

Le pont de halage qui franchit les coupures est à grandes travées avec piles ou palées peu épaisses pour ne pas rétrécir le débouché et éviter les affouillements, si le sol n'est pas résistant.

Figures 611 des planches.

La figure 611 des planches représente la claire-voie avec enceinte d'eau exécutée au port d'Ambleteuse.

Brisants de jetées ou contre-jetées.

Lorsque les parois *extérieures* des jetées sont exposées normalement ou obliquement à l'action de violentes tempêtes, elles sont défendues comme le sont les digues de Hollande, par des brisants ou contre-jetées établis à 50 ou 60 mètres au large et parallèlement, et destinés à amortir le premier choc des vagues. Bélidor préfère ce moyen aux enrochements dont on recouvre le pied des jetées et môles. Les brisants peuvent être en lignes continues, comme ceux des figures 612, observés par feu M. Sganzin dans son voyage en Hollande, et être exécutés comme eux soit en bois avec enrochements, soit en maçonnerie de pierres sèches à profil triangulaire de 0m,80 à 1m de largeur au sommet.

Figures 612 des planches.

On peut encore y substituer un échiquier de plusieurs lignes de pieux non bordés, ou de cylindres et cônes en maçonnerie de mortier.

Les brisants, selon les localités, ne s'élèveraient qu'au niveau des hautes mers de morte-eau ou au-dessus des hautes mers d'équinoxe.

Des brise-lames et môles d'abritement.

Les brise-lames et môles ont pour objet de produire le calme dans l'intérieur des rades et des ports; 1° en arrêtant sur tout leur développement, la propagation de l'agitation extérieure vers l'intérieur; 2° en rétrécissant l'entrée des rades et des ports; 3° en diminuant l'action directe du vent sur la nappe d'eau intérieure.

Quelques-uns de ces ouvrages ont été quelquefois destinés, comme les jetées, à faire les fonctions des chemins de halage et celle d'épis pour arrêter le cheminement des matières alluvionnaires. Ils servent souvent aussi, comme au port militaire de Toulon, de quais de déchargement et d'embarquement, et de terre-pleins pour les opérations d'armement et de désarmement.

On appelle plus spécialement *brise-lames* les ouvrages d'abritement des rades, et môles ceux d'abritement des ports; les uns et les autres peuvent être isolés ou enracinés dans les côtes. Les jetées des ports de la Manche tiennent aussi lieu de môles.

Les brise-lames les plus importants sont la digue de Cherbourg, le *Breakwater* de Plymouth, et celui qui est en exécution à l'embouchure de la Delaware aux États-Unis.

Les môles se rencontrent dans un grand nombre de ports de l'Écosse, dans quelques ports français de l'Océan, tels que Granville, Saint-Malo, Roscoff, Douarnenez, Sauzon; mais ce genre d'ouvrages abonde surtout dans les ports de la Méditerranée.

Dispositions générales des môles.

Dans une rade ou à l'entrée d'un port, dont les eaux ne tiennent aucuns troubles en suspension, et dont le fond n'est pas susceptible d'érosions, le tracé et la disposition des môles ne dépendraient principalement que de considérations commerciales, nautiques et militaires. Connaissant la direction des vents dans les gros temps; les profondeurs d'eau des diverses zônes; le gisement d'îles, rochers, écueils submersibles ou insubmersibles qu'on pourrait utiliser comme brisants de défense ou comme points d'appui des môles à construire; l'étendue du mouillage ou des zônes de stationnement nécessaires au nombre maximum de navires d'une grandeur donnée, on parviendrait à circonscrire le champ des recherches et des diverses combinaisons praticables. Il ne resterait plus qu'à fixer le nombre et la position des passes, d'après les exigences de la navigation, le régime des dénivellations des marées, celui des courants périodiques et permanents, et d'après les époques de reversements des uns et des autres.

Dans les localités où les vents régnants soufflent dans une *direction opposée* à celle des coups de vent, une passe unique dirigée dans ce dernier sens, est généralement préférable; car la sortie sera facile dans les circonstances *où elle pourrait avoir lieu*, tandis que les bâtiments surpris au large par la tempête, ne courraient aucuns risques en venant chercher un refuge.

Mais si les vents régnants sont en même temps ceux qui déterminent le gros temps; que les courants périodiques et alternatifs des marées ou autres ne puissent aider les navires à les surmonter, on sera conduit à ménager deux passes; l'une pour l'entrée dirigée à peu près dans le sens des vents régnants, et l'autre pour la sortie ouverte en sens opposé, ou suivant un axe à peu près perpendiculaire sur le précédent; à moins qu'on ne préférât une passe unique pour l'entrée que les bâtiments remorqueurs feraient franchir pour la sortie.

Les facilités techniques de construction et d'entretien des môles entrent

d'ailleurs en ligne de compte dans les études dont on vient d'indiquer les principaux points.

La question à traiter, déjà fort grave dans l'hypothèse où l'on s'est placé, se complique au plus haut degré dans les rades et les ports dont les eaux tiennent en suspension des matières alluvionnaires, ou en *tiendraient ultérieurement* par suite de la construction même des môles. Car un ouvrage quelconque, saillant ou isolé dans la mer, modifie nécessairement le régime des courants, celui des marées, l'action des vagues dans les gros temps, et la position des zônes d'eaux stagnantes et calmes.

De ces modifications peuvent résulter soit : un développement plus rapide des attérissements existants, soit leur déplacement sur d'autres points; soit même la formation d'*attérissements* dans une rade ou un port où il n'y en avait pas eu avant l'établissement du môle.

Il est même présumable que les zônes du mouillage attenantes à l'intérieur de ces môles, précisément parce qu'elles sont les plus calmes, seront le plus exposées aux attérissements.

Or le manque de profondeur d'eau est un mal permanent très-grave, qui affecte tous les temps et tous les navigateurs, qui peut anéantir à la longue la prospérité du commerce dans un port, et dans les côtes limitrophes; tandis que les sinistres causés par les tempêtes dans une rade même foraine sont des événements assez rares qui ne frappent que sur un petit nombre et auxquels il est pourvu par une faible prime d'assurance maritime.

Un curage permanent obvierait à la vérité au comblement d'une rade ou d'un port; mais la dépense annuelle en pourrait être de beaucoup supérieure à la prime d'assurance maritime. Les ruines d'anciens ports et l'histoire apprennent d'ailleurs que ce moyen, toujours abandonné ou suspendu dans les périodes de crises politiques et commerciales, n'a point empêché un grand nombre de ports célèbres de l'antiquité et du moyen âge de disparaître sous les attérissements.

La notice qu'on a donnée sur le port de Cette fournit des exemples frappants de l'influence funeste des ouvrages d'art sur la marche des attérissements dans certaines localités; et cependant à Cette il n'y a point de marées pour ainsi dire, ni de courants périodiques de flot et de jusant; et le courant littoral y est d'une très-faible vitesse. Enfin l'exemple des bons résultats qu'avaient eus les môles de Civita-Vecchia sur la rive opposée de la Méditerranée pouvait être allégué en faveur des dispositions analogues prises à Cette.

M. Fazio, Ingénieur italien, inspecteur-général des ponts et chaussées du royaume de Naples, dans plusieurs Mémoires publiés en 1828 et 1832, et dont la traduction par M. l'Ingénieur Lemoyne a été insérée dans les *Annales des ponts et chaussées* de 1834 et 1837, a traité avec étendue et érudition l'importante question de l'influence des môles sur les atterrissements. Système des môles tronçonnés.

Cet auteur, d'accord en cela avec Bélidor et feu M. Lamblardie père, reconnait : que sur les atterages déjà sujets à des dépôts d'alluvions il est impossible d'en arrêter le développement par aucun ouvrage d'art. Mais pour prévenir la formation d'*attérissements* dans une localité qui n'y *était point exposée*, il recommande particulièrement pour les môles saillants sur les rives, un système dont il a retrouvé des vestiges dans plusieurs ports d'Italie, notamment dans celui de Pouzzoles, et dans divers monuments historiques. Figures 613 des planches

Ce système consiste à tronçonner les môles par de nombreuses coupures dont la fermeture étant facultative au moins jusqu'à une certaine profondeur en contre-bas de la surface de l'eau, donnerait ainsi la possibilité d'arriver par une longue suite de tâtonnements à une espèce de *tempérament* ou de *moyen terme*, qui en atténuant suffisamment l'agitation intérieure dans les gros temps, laisserait cependant aux courants et aux vagues assez de jeu pour que les troubles restassent en suspension *comme avant l'établissement du môle.*

M. Fazio cite l'ancien port de Misène, comme présentant une variante fort remarquable de ce système. Elle consistait en deux môles tronçonnés presque juxtaposés parallèles et en avant l'un de l'autre, et disposés de manière que les vides de la file du môle intérieur correspondaient aux pleins du môle extérieur, *et vice versâ.*

M. l'Ingénieur Fazio paraît avoir obtenu du gouvernement Napolitain l'autorisation d'appliquer ses vues à la restauration du môle de Pouzzole, et au nouveau môle isolé de Trani, représenté figures 614 des planches. Dans le premier, les vides et les pleins alternatifs auront 12^m,5 et 19 mèt. de largeur dans le sens de l'axe du môle; et la largeur transversale de la plate-forme au couronnement sera de 13 mètres. Dans le second, les vides et les pleins auront 4 mèt. et 5^m,20; et la largeur transversale de la plateforme au couronnement sera de 7^m,80. Figures 614 des planches.

La ligne de cônes se touchant base à base que M. Decessart avait proposée pour la digue de Cherbourg, et dont il avait commencé l'exécution, aurait eu beaucoup d'analogies avec les môles tronçonnés de M. l'Ingé- Figures 615 des planches.

nieur Fazio. Mais M. Decessart n'avait eu nullement en vue de prévenir les attérissements. Il n'envisageait la question que sous des rapports techniques de construction, de solidité, de durée et de dépense, et la ligne de cônes que comme le meilleur mode, selon lui, d'arrêter les vagues, avant qu'elles ne pénétrassent dans la rade, et de décomposer en plusieurs directions *la force incalculable de la mer;* ce sont textuellement ses expressions.

M. Lamblardie fils, dans les discussions qui eurent lieu de 1830 à 1832, sur le projet d'achèvement de la digue de Cherbourg dans la hauteur correspondante aux dénivellations des marées, était parti des faits connus; d'ensablements immenses sur la plage sud-est de la rade dite des Mielles; d'érosions énormes, qui se continuent sur la côte sud-ouest de la rade dans la baie de Sainte-Anne; et de l'existence d'un vaste banc en dedans de la rade, dont la base est presque attenante à la passe de l'Est, et dont la pointe est à l'ouest presque vers le fort central de la digue, et avait émis l'avis :

Que la muraille à construire sur les enrochements artificiels, et qui par sa hauteur correspondait précisément au jeu des marées et aux courants de flot et de jusant, présentât une suite alternative de pleins et de vides; et que par une série de tâtonnements ultérieurs on eût bouché successivement une partie des coupures jusqu'à la limite à laquelle l'on aurait remarqué un développement sensible dans le banc ci-mentionné, ou la formation d'attérissements dans les zônes de la rade destinées au mouillage et aux abords des passes.

L'exposé qui précède signale la gravité des considérations qui touchent à la question des môles d'abritement et l'impossibilité de fixer aucuns principes généraux.

Si l'on envisage d'ailleurs les difficultés techniques d'exécution et d'entretien, l'énorme dépense de quelques-uns de ces ouvrages (la digue de Cherbourg aura coûté plus de 18,500 fr. le mètre courant), on reconnaîtra que l'on ne saurait apporter trop de circonspection dans l'étude et l'examen des projets de brise-lames et de môles. Le concours des armateurs, des pilotes et des hommes de mer expérimentés y est plus nécessaire encore que pour des projets de jetées.

Quelques notes sur le tracé et les effets des brise-lames des rades de Cherbourg, de Plymouth et de la Delaware compléteront les notions générales sur les môles, disséminées dans la description précédente des principaux ports français.

Digue de Cherbourg

Le mémoire publié par M. le baron Cachin présente l'historique des projets de disposition et de tracé de la digue de Cherbourg. On y voit :

1° Les fâcheuses conséquences que l'absence de sondages détaillés a eues pour l'établissement de l'extrémité Est de la digue vers l'île Pelée, et les conséquences plus graves encore qu'elle a failli avoir à l'extrémité ouest, où une roche, dite de *Chavagnac*, était restée ignorée; Figures 616 des planches

2° Les considérations militaires qui furent alleguées contre un tracé de digue qui eût été plus au large de son emplacement actuel, lequel, sans augmentation notable *de longueur et de dépense* eût accru dans une proportion considérable, l'étendue du mouillage abrité pour les bâtiments du premier rang. Cette étendue n'est que d'environ 9,40.000 mètres quarrés à l'abri du vent du nord; et l'on admet généralement qu'on ne pourrait y mouiller par 10 mètres d'eau aux plus basses mers et sous la protection des forts que 36 à 40 vaisseaux de premier rang, sans parler toutefois des frégates et corvettes qui pourraient stationner par 7 à 8 mètres d'eau à basse mer dans les zônes les plus rapprochées de la côte.

3° Les motifs de la disposition angulaire de 169° et de l'inégalité de longueur des deux branches Est et ouest de la digue, lesquels ont été principalement de laisser à découvert le fort royal de l'île Pelée sur la côte Est; et le fort de Querqueville, sur la côte ouest. La branche ouest, de 2.232 mètres de largeur, garantit particulièrement la partie centrale de la rade contre les coups de vents depuis le nord-ouest jusqu'au nord; celle de l'Est, de 1536 mètres, abrite cette même partie contre les coups de vent bien plus fréquents et bien plus longs du nord au nord-est.

Mais la zône ouest de la rade et particulièrement la baie de Sainte-Anne resterait exposée aux coups de vents du nord-ouest. Aussi, dès l'origine des projets on a reconnu l'utilité d'un môle saillant enraciné près du fort de Querqueville qui, se dirigeant vers le nord-nord-ouest, rétrécirait la passe ouest et en couvrirait les abords et l'intérieur.

4° Les diverses considérations invoquées successivement pour laisser la digue *submersible* jusqu'au niveau du tiers des marées ascendantes, puis à celui des hautes mers de mortes-eaux ordinaires; ensuite pour son exhaussement à 3 mètres au-dessus des hautes mers de vive-eau, enfin pour la cote définitivement adoptée de 3m.80 au-dessus des plus hautes mers d'équinoxe;

5° Les modifications que les courants de flot et de jusant avaient éprouvées dès que la digue a eu atteint le niveau des basses mers de vive-eau.

Avant l'établissement de cet ouvrage, le courant de marée montante, après avoir traversé diagonalement la rade du nord-ouest au sud-ouest, arrivait aux rochers des *flamans* à l'Est du port de commerce, et se divisait

en ce point en deux autres courants. Le premier, remontant de l'Est vers l'ouest, allait remplir le port de commerce et l'anse où est le port militaire; l'autre s'infléchissait vers l'Est pour sortir de la rade en passant entre l'île Pelée et la terre et en contournant cette île au nord. Les courants de jusant, à la même époque, étaient, à peu de chose près, parallèles à la côte et en suivaient les contours, en formant cependant un remou à leur rencontre avec les roches de l'île Pelée. Ce remou portait le jusant vers le nord-est.

En 1823, à l'époque où M. le baron Cachin écrivait :

A la passe de l'ouest, le courant de la marée se portait par le premier quart de flot du nord au sud sur les rochers de la baie Sainte-Anne, et se détournait progressivement vers le sud-est dans les trois quarts suivants ; la marche du jusant était inverse du sud-est au nord-ouest, mais portait davantage sur les roches de Querqueville qu'avant les enrochements de la digue.

A la passe de l'Est, il s'était manifesté un courant direct de flot qui, au premier quart, pénétrait dans la rade par le nord-ouest et se détournait pour ressortir vers l'Est-nord-Est. Les courants de jusant dans cette passe marchaient en sens inverse.

Depuis lors, l'exhaussement de la muraille de la branche de l'Est a produit de nouvelles modifications dans le régime des courants. Elles sont exprimées dans le tableau ci-dessous.

Le flot et le jusant coulent parallèlement à la digue en dedans et en dehors, mais avec des circonstances fort remarquables.

Dans la *première moitié ouest de la branche ouest*, la mer est plus élevée au dehors de la digue qu'au dedans et les eaux du flot s'épanchent par dessus les constructions, du nord vers le sud; au jusant, au contraire, la mer est plus élevée au dedans de la digue qu'au dehors, et la jonction se fait par une espèce de cascade du sud vers le nord, par dessus les enrochements des fondations.

Des effets contraires ont lieu dans *la partie Est de la branche ouest, et dans toute la branche Est*. Au flot l'eau y est plus élevée au dedans de la digue qu'au dehors, et la jonction des eaux se fait par dessus les enrochements de fondation par une *cascade* du dedans vers le dehors, tandis qu'au jusant la cascade se dirige du dehors vers le dedans. Elle y est tellement forte, que dans les *maçonneries en construction* à la branche Est, elle délave les mortiers et déplace, même en temps de calme, les pierres comme l'auraient fait des eaux agitées s'épanchant *par dessus un déversoir*.

Le courant du flot se maintient pendant 9 heures de marée à l'extrémité Est de la branche Est et celui du jusant n'y dure que 3 heures.

Un autre fait également hors de doute aujourd'hui, c'est que la crête du *banc* au dedans de la branche Est se dérase et que la profondeur d'eau y est augmentée; mais que par compensation, les matières provenant de ce dérasement se sont portées vers la pointe ouest du banc qu'elles tendent à allonger vers le nord-ouest en y diminuant la profondeur d'eau. Toutefois, la ligne de 25 pieds d'eau (8^{m},12) à basse mer n'a pas varié.

Tableau indicatif des directions du flot et du jusant aux diverses époques de la marée journalière et sur divers points de la rade de Cherbourg en novembre 1838.

NOMENCLATURE.	DIRECTION DU FLOT exprimée par les aires du vent vers lesquelles le flot marche.				DIRECTION DU JUSANT exprimée par les aires du vent vers lesquelles le jusant marche.				VIVES EAUX.		MORTES EAUX.		OBSERVATIONS.
	1er quart montant.	2e quart montant.	3e quart montant.	4e quart montant.	1er quart descendant.	2e quart descendant.	3e quart descendant.	4e quart descendant.	Heures de haute mer.	Heures de basse mer.	Heures de haute mer.	Heures de basse mer.	
Au nord de la digue. .	N.-E.	E.	E.	E.	O.	O.	O.	O.	h. 9	h. 3	h. 9	h. 3	A une demi-lieue de la digue
Au sud de la digue. .	E.	E.	E.	E.	O.	O.	O.	O.	9 1/2	3 1/2	2 1/2	8 1/2	A demi-encablure de la digue.
Passe de l'ouest. . . .	S.-E.	S.-E.	S.-E.	S.-E.	N.-O.	N.-O.	N.-O.	N.-O.	9 1/2	3 1/2	2 1/2	9 1/2	
Passe de l'Est.	N.-E.	N.-E.	E.	E.	S.-O.	S.-O.	Etale.	N.-E.	8 1/2	2 1/2	8 1/2	2 1/2	
Petite passe entre l'île Pelée et la côte de Tourlaville.	E.-S.-E.	E.-S.-E.	E.-S.-E.	E.-S.-E.	O.	O.	O.	O.	2	9	3	9	
Milieu de la rade. . .	S.-E.	E.	E.	E.	O.	O.	O.	O.	9	3	3	9	
Fort du Homet. . . .	S.-S.-E.	S.-S.-E.	N.-N.-O.	N.-N.-O.	N.	N.	N.	N.	9	3	3	9	Les vents font quelquefois avancer ou retarder l'heure des marées jusqu'à une heure d'intervalle.
Avant-port militaire. .	S.-S.-E.	S.-S.-E.	N.-N.-O.	N.-N.-O.	N.	N.	N	N	9	3	3	9	
Avant-port marchand.	E.-S.-E.	E.-S.-E.	N.	N.	N.	N	N.	N.	7 3/4	1 3/4	1 3/4	7 3/4	
Aux Mielles.	E.-S.-E.	E.-S.-E.	N.-O.	N.-O.	N.-O.	N.-O.	N.-O.	N.-O.	7 3/4	1 3/4	1 3/4	7 3/4	
Au Becquet.	E.	E.	E.	E.	O.	O.	O.	O.	8	9	2	9	

Le Breakwater de Plymouth a été fondé dans une rade entourée de trois côtés par des reliefs de terrain très-élevés, et qui n'était ouverte qu'au sud. Cette rade présentait plusieurs bancs de rochers entre lesquels et les côtes il y avait trois passes principales, une vers la côte de l'ouest, une au milieu, une vers la côte de l'Est.

Breakwater de Plymouth.

Figures 617 des planches.

On avait proposé d'abord des môles euracinés dans les côtes, et qui auraient eu depuis 823 jusqu'à 2423^{m} de longueur; ces môles devaient aboutir aux divers bancs de rochers. Mais l'on sacrifiait ainsi l'une des deux passes de rive les plus commodes pour conserver celle du milieu,

qui l'était beaucoup moins. On craignit d'ailleurs, que les môles enracinés dans une rive ne rejetassent les courants de flot et de jusant sur l'autre, et n'y augmentassent la vitesse et la profondeur ; tandis qu'en arrière des môles et vers l'intérieur, l'eau devenue stagnante eût donné lieu à des dépôts de vase qui auraient privé de profondeur précisément les zônes les plus abritées de la rade.

On se décida en conséquence pour un môle isolé, insubmersible, fondé sur les bancs de rochers les plus reculés dans l'intérieur de la rade, en laissant en avant vers le large comme *brisants* ou *contrejetées* tous les autres bancs de rochers. Le môle oppose aux vents du sud-sud-Est un front perpendiculaire rectiligne de 914 mètres de longueur, auquel font suite aux deux extrémités, deux retours de 320 mètres de longueur rentrant vers l'intérieur de la rade par des angles de 135° avec la partie droite. Les deux retours ont eu pour objet d'abriter la rade d'un côté contre les vents du sud au sud-Est, et de l'autre contre ceux du sud au sud-ouest, et aussi de diriger les courants du flot vers les deux rives de la rade.

La surface de mouillage intérieur abrité directement contre les vents du sud-Est, à Plymouth, est d'environ 4,500,000 mètres carrés.

Breakwater de la Delaware

Figures 618 des planches

Dans la baie de la Delaware, il y avait à se garantir à la fois contre les glaces venant des fleuves à l'amont, et contre les vents régnants qui, sur cette plage, sont du nord-ouest à l'Est en passant par le nord. On désirait, d'ailleurs, par des considérations nautiques et commerciales, favoriser bien plus l'entrée aux bâtiments venant du large et cherchant une rade de relâche, que le stationnement et la sortie des bâtiments venant de l'intérieur de la baie. Une profondeur d'eau minimum de $5^{m},49$ était requise et devait être maintenue par les eaux du jusant après la construction du Breakwater. Ce dernier courant devait d'ailleurs diminuer l'action du flot sur le cap *Henlopen* situé sur la côte à l'Est de la rade, et arrêter aussi les ensablements progressifs du cap vers le nord. Ces ensablements pouvaient en effet rendre très-difficiles les approches de la passe Est de la rade.

Le Breakwater de la Delaware se compose ainsi de deux ouvrages, l'un *brise-lame*, l'autre *brise-glace*, isolés l'un de l'autre. Le *brise-lame* est formé de deux branches comprenant un angle de 135° ; l'une à l'ouest, de 650 mètres de longueur, est presque normale à la direction des vents régnants du nord-nord-ouest ; celle de l'Est, de 450 mètres de longueur, est perpendiculaire à peu près à la direction des vents de nord-Est.

Le brise-glace rectiligne de 457 mètres de longueur est à l'ouest du brise-lame, fait un angle de 135° avec la branche ouest de ce dernier, et en est séparé par un intervalle de 320 mètres de plus courte distance, qui constitue la passe ouest.

Le brise-glace a été projeté d'ailleurs de manière que la ligne qui joint son extrémité nord avec l'extrémité ouest du brise-lame est orientée nord-ouest. Ainsi le brise-glace complète l'abritement de la rade contre les vents compris entre l'ouest et le nord-nord-ouest. Quoique ces vents soufflent de terre dans la Delaware, ils y conservent une grande force à cause du peu de relief des rives de la baie.

En résumé, l'étendue des zônes de la rade, qui sera abritée directement contre les vents de nord, est égale à $\frac{1}{6}$ de mille carré américain (431,641 mètres carrés); celle des zônes abritées contre le vent d'Est-nord-ouest est de $\frac{2}{7}$ de mille carré (725,157 mètres carrés). Enfin l'espace compris entre la courbe des sondages à 5^{m},40 de profondeur d'eau et les môles, à l'abri des vents du nord-Est est de $\frac{7}{10}$ de mille carré (1,832,892 mètres carrés).

Les deux passes sont ouvertes, l'une au nord, l'autre à l'Est, et ces vents ne règnent dans la Delaware que pendant douze à quinze jours dans l'année.

Raccordements des diverses branches des môles et enracinements des môles saillants dans les côtés.

Les raccordements des diverses branches d'un môle isolé et d'un môle saillant, les enracinements de ces derniers dans les côtes ne doivent pas, ainsi qu'il a été déjà dit, présenter dans le tracé en plan des angles vifs; ils doivent au contraire être effectués par des arrondissements du plus grand rayon de courbure que possible, afin d'éviter à la fois la réaction violente des vagues, d'augmenter la résistance de l'ouvrage lui-même, et de procurer plus de développement de quais, lorsque les môles servent de terre-pleins.

Largeur des passes d'entrée aux extrémités des môles.

Le débouché des passes aux extrémités des môles varie entre des limites très-distantes l'une de l'autre. Il dépend en effet d'une foule de considérations nautiques, de l'étendue des mouillages en arrière, du nombre des passes, de leur orientement relativement aux vents régnants, de la grandeur des navires, de leur affluence à l'entrée et à la sortie, de la nécessité de franchir les passes en droite ligne ou en louvoyant, du plus ou moins de calme qu'on veut obtenir en dedans des môles, enfin des conditions défensives. Le calme sera d'autant plus grand à l'intérieur, toutes choses égales

d'ailleurs, que la passe sera plus resserrée proportionnellement à la surface de la rade et du port à abriter.

A Cherbourg, les deux passes réservées dans la rade ont, celle de l'Est 800 mètres de largeur, celle de l'ouest près de 2,330 mètres. Les passes de la rade de Plymouth ont, celle de l'Est 822 mètres, celle de l'ouest 1427 mètres.

Ce sont des limites supérieures de grandeur des passes des rades; car les passes d'entrée des môles des ports proprement dits, varient depuis 18 mètres jusqu'à 390 mètres, et généralement ont 60 à 100 mètres de débouché.

Submersibilité ou insubmersibilité des môles.

Presque tous les môles construits jusqu'à ce jour ont été élevés à un niveau tel que leur couronnement fût non-seulement au-dessus du niveau maximum des *mers-calmes*, mais de plus à l'abri des vagues, dans chaque localité et dans les gros temps ordinaires. Cependant on s'est borné quelquefois, dans la hauteur au-dessus des hautes mers d'équinoxe, à un simple mur de parapet longitudinal.

Sans doute des môles *submersibles*, et la digue de Cherbourg en a fourni la preuve, alors même qu'elle n'était élevée qu'au niveau des basses mers de vives eaux, diminuent de beaucoup l'agitation de la mer dans les zônes en arrière, et comme le feraient des bancs de rochers sous-marins. Mais comme ces bancs, ils formeraient des écueils dangereux pour la navigation. De plus, le calme ne se manifeste qu'à une assez grande distance en arrière, et l'on perd ainsi une partie de la surface du mouillage. Enfin, les vagues gonflées par le môle submersible, en roulant sur son couronnement, peuvent compromettre la durée de l'ouvrage lui-même, ou au moins occasionner des rechargements ou des réparations continuelles, qu'on eût évités dans un môle insubmersible; et dont la dépense annuelle correspondrait probablement à un capital plus élevé que le prix initial de construction d'un môle insubmersible.

Au reste, la destination donnée à la plupart des môles pour des ouvrages avancés de fortifications, pour des terre-pleins de quais, pour des constructions d'édifices, laisse rarement indécise la question de l'insubmersibilité.

Continuité ou discontinuité des môles.

On a déjà mentionné précédemment les importantes observations émises par M. l'Ingénieur napolitain *Fazio* sur l'influence des môles continus, relativement aux atterrissements dans les rades et ports, et dans des parages où des troubles sont mis en suspension par les vagues dans les gros temps, et charriés ensuite par ces vagues ou par les courants.

Dans des atterages où les eaux ne sont jamais chargées de troubles, il n'est pas probable qu'une digue tronçonnée fût, à longueur égale, de beaucoup moins dispendieuse qu'une digue continue; les cônes isolés de Cherbourg viennent à l'appui de cette assertion. La houle de la mer, resserrée dans les vides, y occasionnerait plus de dégradations ou exigerait plus de solidité dans la construction première. Les coupures transmettraient enfin à l'intérieur, et jusqu'à une distance notable, l'agitation extérieure : il y aurait donc moins de calme qu'avec une digue continue, qui serait alors préférable.

Mais dans des attérages où *il y a des troubles en suspension*, où déjà il y aurait des attérissements sur quelques points, il paraîtrait prudent d'exécuter avec des coupures les môles d'abritement, et surtout les môles enracinés dans les côtes; ou au moins d'exécuter l'ouvrage par parties, en dressant un état exact des lieux, des sondages, des directions et vitesses des courants avant l'ouverture des travaux, et en y comparant les reconnaissances successives des mêmes objets aux diverses périodes de la construction. Cette marche sera sans doute beaucoup plus lente qu'une construction d'un seul jet; sans doute aussi un môle tronçonné ne procurerait pas tout le calme désirable dans les gros temps, mais on éviterait ainsi les chances de dépenses énormes en pure perte pour la construction et la démolition subséquente d'ouvrages qui seraient tardivement reconnus nuisibles.

Toutefois le tronçonnement des môles n'aura toute son efficacité qu'autant qu'il descendra jusqu'au fond de la mer. Si ce fond est susceptible d'affouillements, on ne pourra se dispenser de le recouvrir dans les coupures, d'un radier général en gros blocs d'enrochement ou en béton, lequel aurait à s'étendre au large des deux rives de l'ouvrage au moins sur 15 à 20 mètres.

La fermeture facultative des coupures empêcherait que leur débouché eût plus de 10 à 12 mètres d'ouverture; dès lors il en faudrait un grand nombre pour que le système de M. Fazio ne devînt pas illusoire. De là, une surface totale de parements exposés à la mer presque double de celle des deux rives d'un môle continu.

Enfin, le tronçonnement des môles est presque exclusif de l'emploi des enrochements. Il est très-douteux du reste, que les voûtes en maçonnerie par lesquelles M. Fazio relie les pleins des coupures au-dessus du niveau des eaux; que les ponts et tillacs en charpente ou en métal qu'on y

substituerait; et enfin que les panneaux de fermetures et barrages en poutrelles, pussent résister à la mer dans les gros temps. L'état de ruine des ports antiques, que M. Fazio cite dans son mémoire, justifie ce doute. Le système des môles doubles, accolés longitudinalement, se prêterait mieux à la fermeture facultative des coupures, mais doublerait aussi la dépense.

Les môles tronçonnés dans les ports où l'agitation de la mer serait très-grande, ne pourraient servir de terre-pleins pour l'accostage des navires et les opérations de chargement et de déchargement, qu'autant que les pleins auraient une très-grande largeur relativement aux vides dans le sens des axes des môles. M. Fazio paraît avoir adopté le rapport de 5 à 4 entre les largeurs des pleins et des vides.

Les observations ci-dessus tendent à démontrer encore une fois que dans l'établissement des môles, et au reste comme dans la plupart des grands travaux, il est bien difficile de satisfaire à toutes les conditions, et impossible d'assigner d'une manière absolue la préférence à donner à tel ou tel système.

Musoirs des môles. Les môles, comme les jetées ordinaires, présentent presque toujours, à leurs extrémités, des musoirs qui sont tantôt rectangulaires avec arrondissements dans les angles ou entièrement curvilignes. Quelquefois, et comme à la digue de Cherbourg, ces musoirs sont destinés à recevoir des forts, des batteries découvertes; et alors leur tracé et leur grandeur dépendent principalement des combinaisons militaires adoptées. Dans d'autres circonstances, les musoirs servent à l'établissement de phares ou fanaux. Enfin, dans tous les cas, ils sont utiles pour les communications du môle avec les navires qui traversent les passes, surtout dans les gros temps.

Cette dernière considération déterminera à leur donner 10 à 12 mètres de plus de largeur qu'au môle ordinaire; mais alors autant que possible, et à moins que le touage ne s'y oppose, l'excédant de largeur doit être tout entier *vers l'intérieur*, et les raccordements avec le môle seront arrondis en courbes concaves d'un grand rayon.

La plate-forme des musoirs des môles comme celle des musoirs des jetées, est d'ailleurs placée plus haut de $0^m,80$ à 1 mètre que le reste du couronnement, pour que les paquets de lames dans les tempêtes n'empêchent pas d'y rester. Les parapets des môles du côté du large ont l'avantage également de préserver des paquets de lames les couronnements des môles et les marins qui sont obligés de s'y tenir, et de préserver de l'action directe

du vent les zônes du mouillage les plus voisines du môle. En Italie, et particulièrement dans les ports antiques, les parapets étaient de véritables murs d'abri, et avaient jusqu'à 5 et 6 mèt. de hauteur. A la digue de Cherbourg, le parapet qui a une destination défensive aura $1^m,65$ de hauteur sur $2^m,50$ d'épaisseur; et au môle isolé de Cette, il a $1^m,52$ de hauteur sur une épaisseur de $3^m,85$ dans le haut.

Les parapets concourent aux dispositions défensives, et facilitent les réparations d'avaries intérieures. Mais on a objecté qu'ils augmentent, sans compensation équivalente pour la stabilité des môles, la surface qui reçoit le choc des vagues; qu'ils forment la partie de l'ouvrage la plus exposée à la mer; et qu'on ne peut les consolider que difficilement, par l'emploi de blocs de dimensions colossales et par des artifices d'appareils très-dispendieux.

Dimensions transversales des môles à leur couronnement.

La largeur des môles à leur couronnement dépend de leur destination, de leur exposition aux tempêtes, de leur hauteur, de la forme de la section transversale de l'ouvrage, de la nature des matériaux, etc., etc. Elle varie dans les môles existants depuis 3 mètres jusqu'à 40 et 50 mètres. La plate-forme de la muraille verticale en maçonnerie en exécution à la digue de Cherbourg a 9 mètres d'épaisseur totale au couronnement y compris le parapet. Le Breakwater de Plymouth aura $13^m,75$ de largeur au sommet, bien qu'il n'ait d'autre destination que d'abriter la rade.

La largeur au sommet du Breakwater de la Delaware, qui n'a aussi que cette destination, a été projetée à $9^m,75$.

Le môle isolé de Cette a 12 mètres de largeur en *dedans* du parapet.

D'un autre côté, les môles qui environnent les darses du port militaire de Toulon, dont le tracé est défensif, et qui devaient fournir des terre-pleins à une foule d'établissements de l'arsenal, des lieux d'armement, et des points de déchargement aux munitions de toute espèce, ont depuis 22 mètres jusqu'à 140 mètres de largeur.

Le tableau final qu'on trouvera plus bas relate les largeurs de divers môles exécutés.

Formes de la section transversale.

Les considérations générales présentées antérieurement sur les formes extérieures des revêtements à la mer, s'appliquent surtout aux môles. Sous le point de vue de défense militaire et pour la navigation, les parois abruptes sont évidemment préférables; elles sont surtout avantageuses pour les rives des môles qui doivent servir à l'accostage et aux opérations d'armements et autres.

RÉSUMÉ DE LA TRENTE-SIXIÈME LEÇON.

SUITE DES BRISE-LAMES ET MÔLES D'ABRITEMENT. — AVANT-PORTS ET PORTS D'ÉCHOUAGE. — BASSINS DE FLOT, DARSES ET DOCKS.

Mode de construction des môles.

Les môles, surtout les musoirs, étant bien plus exposés que les jetées à l'action directe des vagues et des courants, étant fondés à une bien plus grande profondeur au-dessous du niveau des hautes mers, requièrent bien plus de solidité que les jetées, et présentent plus de difficultés encore dans leur exécution. Le temps disponible pour le travail est plus restreint, entre autres dans la construction des môles isolés pour lesquels les transports et les communications de toute sorte ne peuvent s'effectuer que par mer, et sont assujettis à une foule d'entraves provenant des marées, des courants, de l'agitation de la mer, etc.

Dans les rades et attérages, tels que ceux de Saint-Malo et Granville, Roscoff, Ouessant, où les dénivellations des marées sont énormes, relativement aux tirants d'eau des bâtiments qui à basse mer sont forcés d'échouer; l'emplacement des môles découvre souvent à basse mer, et alors leur système de fondation et de construction peut se rapprocher de celui des jetées, des quais, des digues et autres ouvrages littoraux. Les figures 619 des planches représentent plusieurs môles exécutés de cette manière sur les côtes d'Écosse.

Figures 619 des planches.

Mais, dans les rades de l'Océan et de la Méditerranée surtout, où les dénivellations des marées seraient faibles et presque nulles relativement à la profondeur d'eau nécessaire au mouillage; dans d'autres rades où l'on voudrait procurer un mouillage abrité à des bâtiments restant à flot *pendant la basse mer;* le travail de construction des môles se compose ordinairement de deux parties distinctes : 1° de la fondation artificielle

depuis le sol jusqu'au niveau des basses mers; 2° de l'élévation du môle depuis ce niveau jusqu'au couronnement de l'ouvrage.

Fondation de la portion des môles au-dessous des basses mers

Un petit nombre seulement des divers modes de fondations artificielles indiqués dans les treizième et vingtième leçons, est applicable ici. Ainsi, on est forcé souvent d'exclure les pilotis de support. Car, outre l'extrême difficulté d'effectuer le battage avec quelque précision dans des eaux toujours oscillantes même dans les temps de calme, un coup de vent suffirait pour renverser ou briser les pieux isolés, et même les pieux réunis par un grillage avant qu'on n'eût rempli leurs intervalles par des enrochements ou par de la maçonnerie de béton.

Les machines et apparaux de battage ne pourraient rester sur place sans être détruits à chaque instant par la mer; leur démontage à flot à la fin du travail journalier, et leur remontage le lendemain, réduiraient le temps du battage à un petit nombre d'heures par jour. Indépendamment de ces motifs, les pilotis ne sont plus praticables toutes les fois que la profondeur d'eau au-dessous des basses mers, et la fiche que les pieux auraient à prendre, seraient de plus de 9 à 10 mètres.

Le travail à l'aide de la cloche à plongeur ou de scaphandres, serait d'une lenteur inconciliable avec les grandes dimensions de longueur et largeur des môles; il exigerait un mobilier énorme qui opposerait les mêmes difficultés que celui du battage des pieux.

Ce qu'on a dit pour les pilotis de support de fondation s'applique *à fortiori* au système de construction par bâtardeaux.

Il ne resterait donc dans les parages *très-tourmentés par la mer,* pour les fondations artificielles en contre-bas des basses mers, que l'un des trois modes suivants, employé isolément ou concurremment :

1° Celui des enrochements à pierres perdues, dont le môle de Cette dans la Méditerranée, la digue de Cherbourg, le Breakwater de Plymouth, celui de la Delaware dans l'Océan, sont les principaux exemples, et sur lesquels on a donné des détails à la trente-quatrième leçon, pages 267 à 277;

2° Celui des caissons non foncés, en bois ou en métal;

3° Celui des caissons foncés, en bois ou en métal.

Les caissons pourraient avoir d'ailleurs diverses formes et être remplis d'enrochements, de maçonneries en pierres sèches, de maçonneries à mortier hydraulique, ou de maçonneries de béton, soit enfin de combinaisons mixtes.

Les cônes en charpente, exécutés par M. Decessart à la digue de Cherbourg, étaient de véritables caissons amovibles non foncés, mais qui devaient servir à la fois pour la partie inférieure de la digue constamment immergée et pour la partie supérieure au niveau des basses mers.

Dans la Méditerranée, dans la Baltique, où les dénivellations des marées sont à peu près nulles, on a employé généralement le système des enrochements pour les fondations *artificielles* des môles.

Toutefois, divers môles anciens et notamment celui d'Ostie, ont été fondés à l'aide de navires échoués remplis de maçonnerie, et qui sont de véritables caissons *foncés*. Vitruve lui-même a indiqué comme généralement pratiqué de son temps, le système des caissons rectangulaires foncés et non foncés ; et M. Fazio induit de diverses citations que les môles discontinus, formés de piles qui descendaient jusqu'au sol, avaient été fondés de cette manière.

Dans des temps plus rapprochés, on a eu recours pour la digue de Richelieu, ainsi qu'il a été déjà dit, au même système de navires échoués et remplis de matériaux ; et M. Decessart avait songé à l'appliquer à la digue de Cherbourg.

Figures 621 des planches. Le môle de Nice a été fondé dans sa partie centrale par des caissons contigus d'environ 14 mètres de longueur sur 14 mètres de largeur, et $10^{m},70$ de hauteur de parois; et ce genre de construction avait été proposé sous l'empire pour l'allongement du môle d'Ancône.

Enfin, M. l'Ingénieur Poirel a amélioré encore au môle d'Alger l'emploi des caissons pour foudations de môles (Voir les *Annales des ponts et chaussées* de 1838).

Le système de caissons foncés en bois ou en métal exige qu'on drague au préalable et qu'on règle avec soin l'emplacement où ces caissons doivent être échoués; c'est une des difficultés et l'un des inconvénients de ce genre de constructions. Si, comme dans les travaux en rivière, on échoue les caissons vides; on est exposé dans les parages où la mer est habituellement agitée, à des avaries considérables pendant le temps du travail, et même à la destruction de ces charpentes colossales. Si le caisson reste à flot jusqu'à ce que le poids des maçonneries le fasse immerger, il peut dans l'échouage se rompre et compromettre les maçonneries à l'intérieur. D'ailleurs, les dépenses d'épuisement de ces caissons dans *les ports à marées* seraient très-considérables, à moins que le caisson par sa hauteur ne servît à la fois pour les maçonneries *au-dessous* et *au-dessus* des *basses*

mers; mais alors les poussées d'eau qu'il aurait à contenir seraient énormes dans beaucoup de circonstances, et l'on ne pourrait rendre le caisson résistant qu'en se jetant dans des constructions gigantesques en bois et d'un prix incalculable.

L'on serait conduit par les considérations qui précèdent à construire les tranches verticales de maçonnerie de la partie *constamment immergée* des môles sur des radeaux flotteurs, dans une enceinte où ces radeaux seraient assis sur des chantiers. Cette enceinte devrait, dans les ports à marée, présenter une profondeur d'eau suffisante pour la mise à flot des radeaux chargés, et dans les ports sans marée être en communication facultative avec la mer.

Lorsque la tranche de maçonnerie serait achevée, le radeau serait mis à flot et remorqué par un temps calme, au lieu d'immersion où l'opération d'échouage s'effectuerait immédiatement d'après des procédés analogues à ceux qui ont été suivis pour les cônes de la digue de Cherbourg.

Un pareil mode ne serait applicable évidemment qu'à des tranches peu volumineuses et obligerait, dans beaucoup de circonstances, de subdiviser le massif de fondation du môle, non-seulement dans le sens vertical, mais aussi dans le sens horizontal; en sorte que dans l'exécution, ce massif ne serait qu'une sorte de maçonnerie irrégulière en *pierres sèches*, faite sous l'eau avec des blocs artificiels imparfaitement arrimés.

Les caissons non foncés seront donc en général préférables aux caissons foncés.

Mais, ainsi que M. l'Ingénieur Poirel l'a judicieusement fait observer, les premiers, *s'ils sont en bois*, ne doivent servir que d'enveloppes temporaires et jusqu'au durcissement complet des maçonneries, afin d'éviter ce qui est arrivé à la charpente des cônes de la digue de Cherbourg. Cette durée très-restreinte permettra d'ailleurs d'employer des bois de qualité inférieure, à bas prix, et grossièrement œuvrés.

En admettant même qu'il n'y eût pas de vers marins dans la localité, qu'ils ne pussent y être importés subséquemment et ne pussent s'y propager avec leur rapidité ordinaire, la charpente en bois des caissons non foncés, assaillie par les vagues, particulièrement dans les basses mers, privée d'entretien et de réparations, serait bientôt déliaisonnée et détruite.

Une difficulté commune aux caissons foncés et non foncés, mais plus spéciale encore aux premiers, c'est d'obtenir la jonction et la continuité Exécution des caissons.

à peu près régulière des diverses tranches successives et adjacentes du même massif de fondation du môle.

Les parois en charpente de deux caissons *foncés* juxtaposés ne sauraient guère être démontées après l'immersion sur un fond qui présentera souvent 10 et 12 mètres d'eau à basse mer, quelles que soient d'ailleurs les dispositions préparées à cet effet avant l'immersion. D'autre part, les vers marins s'y propageant, il se formera à la longue des vides par lesquels la mer pénétrera et agrandira constamment des dégradations inaperçues.

L'emploi de parois en fonte de fer y obvierait, mais en élevant de beaucoup la dépense de construction.

Il semblerait préférable de former sur les deux faces longitudinales du massif de fondation des petites crèches saillantes en pieux jointifs ou en caissons non foncés, vis-à-vis les mailles ou *joints de parement* de deux caissons adjacents, et d'y couler à basse mer du béton qui se répandrait jusque dans les vides entre les parois transversales. Ces dernières seraient ainsi soustraites au batillage de la mer et aux vers marins.

Les caissons *non foncés* juxtaposés ne devraient être formés que de deux surfaces de bois parallèles dont l'écartement et le rapprochement seraient prévenus par des entretoises et des tirants en bois ou en métal; en sorte qu'après leur immersion le remplissage du vide entre les deux surfaces s'effectuerait sans discontinuité d'un caisson à l'autre. Les mailles ou *joints de parement* seraient fermés d'ailleurs, comme il vient d'être dit pour les caissons foncés.

Malgré ces précautions, la profondeur d'eau, l'action des courants, des dénivellations de marée, de la mer même peu agitée, s'opposeront à ce que les caissons immergés affectent un alignement régulier. Il sera donc indispensable de projeter le massif de fondation avec des empatements ou retraites sur chacune de ses rives, en saillie de 2 mètres à 3 mètres de largeur au moins sur le pied de la partie supérieure du môle.

Figures 622 des planches.

Du reste, la construction, la mise à flot, la remorque et l'immersion des caissons foncés et non foncés se feraient d'après des procédés analogues à ceux que M. Decessart a employés pour les cônes de la digue de Cherbourg, et dont les figures 622 donnent une indication.

Les formes, grandeurs et nombres de caissons foncés et non foncés pour massifs de fondation des môles dépendent des formes et dimensions et du

système de construction du massif à fonder, lesquelles se déduiront elles-mêmes de celles de la partie du môle supérieure aux basses mers.

Des caissons d'un périmètre d'environ 60 mètres et de 20 mètres de hauteur de parois sont les plus grands qui aient été exécutés. Les œuvres de Decessart donneront d'utiles enseignements sur les détails et confections de ces charpentes colossales.

On y trouve entre autres que les dépenses de toute espèce, sauf celles pour le remplissage des caisses, se sont élevées pour 18 cônes œuvrés, mis à flot, remorqués et immergés, à. . . . . 21,658,420 fr.
et que la charpente même de ces cônes n'entrait dans cette somme que pour. . . . . 3,636,560 fr.
La capacité totale était de. . (43,200 toises cubes) ou. . . 319,753 m.c.
Ce qui fait ressortir l'ensemble des dépenses par mètre cube de capacité à. . . . . 68 fr.
Et la charpente seule par mètre cube de capacité à. . . 11 fr. 30 c.

Si la partie émergée d'un môle peut, à raison de sa destination, n'avoir au niveau des basses mers qu'une épaisseur transversale de 15 mètres au plus; le massif de fondation, à raison des empatements indiqués, aurait de 19 à 21 mètres au plus. Une seule file de caissons foncés ou non foncés suffirait dans ce cas.

Mais au delà des chiffres ci-dessus, on formerait le massif de fondation de deux lignes de caissons, l'une sur la face intérieure, l'autre sur la face extérieure; et l'intervalle entre elles serait comme une troisième file de *caissons non foncés*.

Si les caissons étaient en parois métalliques, par exemple dans le système proposé par M. Deeble (voir la traduction du Mémoire de cet inventeur par M. Heller), dont la figure 623 des planches donne une indication, leur remplissage pourrait se faire en blocaille d'enrochement. Mais des parois en bois excluent cette espèce de matériaux, au moins sur les rives du périmètre. La dépense de béton ou de maçonnerie pourrait cependant être restreinte dans ce cas, en immergeant des couches alternatives de béton et de moellons, ou en laissant dans la partie centrale de ces caissons un vide qui serait rempli seulement en blocaille. Matériaux de remplissage des caissons. Figures 623 des planches.

Ce second moyen s'adapterait au cas d'une seule file longitudinale de caissons de fondation qui aurait à supporter un massif émergé analogue à celui des jetées, figures 609 des planches, et qui serait formé de deux murs de rive et d'un noyau en blocaille ou en terre battue. Figures 609 des planches.

Lorsque la grande largeur des môles à leur couronnement exige dans le massif de fondation deux files de caissons de rive, le vide entre ces deux files pourra aussi n'être rempli qu'en blocaille d'enrochement.

Au reste, soit qu'il n'y ait qu'une seule file de caissons de fondation, ou une sur chaque rive du môle, il sera utile dans les parages tourmentés par la mer, et pour préserver la charpente des caissons pendant le durcissement des maçonneries et du béton intérieur, de dresser à l'extérieur des caissons des enrochements *temporaires* de défense qu'on abandonnera à leur talus naturel vers l'intérieur de la rade ou du port, et auxquels on donnera une pente de 4 à 5 pour 1 vers le large.

On a indiqué dans la trente-quatrième leçon, page 294, les principales considérations d'après lesquelles le choix se fixera sur l'un des systèmes de fondation artificielle ci-dessus indiqués pour les môles, ou sur leurs combinaisons dans le même travail.

Toutefois, les têtes des parties pleines dans les môles tronçonnés, les musoirs extrêmes dans les môles continus, quel que soit le mode de fondation des zônes intercalaires, n'admettront guère que l'emploi de caissons foncés ou non foncés.

Car les grands talus des enrochements immergés rétréciraient les débouchés des coupures dans la première espèce de môles, et ceux des passes dans la seconde. D'ailleurs les vagues et les courants qui y seront à leur maximum d'intensité tendraient constamment à faire cheminer les matériaux des enrochements, ou vers le large ou vers l'intérieur; et la stabilité des ouvrages élevés au-dessus du niveau des basses mers sur la fondation en enrochements en serait gravement compromise.

On avait pensé à appliquer à la fondation immergée des môles le système des tunages des travaux en rivières et des digues à la mer. Même Bélidor (tom. II, 2ᵉ partie, p. 210 de l'*Architecture hydraulique*) proposait de couler sur le fond un lit de grands arbres ébranchés et espacés parallèlement de 1 mètre à $1^m,75$. Les intervalles eussent étéremplis en graviers ou enrochements; une seconde couche d'arbres eût croisé perpendiculairement la première et eût été en retraite. Les vides en eussent été remplis comme ceux de la première couche. C'était sur un massif de ce genre qu'on eût construit la partie supérieure des môles. Mais outre les difficultés d'immersion, la détérioration rapide des fascinages et clayonnages par les vers marins, outre l'action des vagues sur la blocaille des tunages pendant et après le travail; ce genre de construction serait pro-

bablement trop compressible et trop peu résistant pour supporter sans tassements incessants les parties supérieures émergées des môles, à moins qu'elles ne fussent elles-mêmes dans ce système.

Mode de construction de la partie des môles supérieure au niveau des basses mers.

Lorsque la partie supérieure émergée d'un môle est en enrochements, comme la fondation immergée, elle doit être établie en larges retraites sur celle-ci, comme au môle isolé de Cette, figure 620 des planches, de manière que le poids en soit réparti sur une plus grande surface et éprouve moins de tassements. Ces retraites, surtout du côté intérieur, procurent en outre beaucoup de facilités, surtout dans les ports à marées, pour l'échouage à toute haute mer des bâtiments et bateaux qui apportent les matériaux de construction. Enfin, *elles rendent les parties supérieures des môles plus indépendantes des mouvements qu'éprouveraient les parties inférieures immergées.*

Figures 620 des planches

Du reste, les surfaces extérieures des enrochements au-dessus du niveau des eaux peuvent être exécutées avec plus de soin que dans les fondations, en arrimant les gros blocs de revêtement et en les disposant en pérés à sec ou en pérés maçonnés.

On a déjà dit, page 269, quels moyens on employait en ce moment au Breakwater de Plymouth pour essayer d'arrêter les avaries que ce grand ouvrage n'a cessé d'éprouver depuis 1817.

Si les parties émergées des môles doivent être exécutées sur la base en enrochements, avec parois en bois et métalliques, ou en maçonneries de diverses espèces, les retraites indiquées ci-dessus deviennent encore plus nécessaires pour prévenir les tassements et les déliaisons. Même on pourrait imiter ce qui a été fait pour la fondation du fort central de la digue de Cherbourg, c'est-à-dire, opérer et laisser subsister pendant plusieurs mois une charge d'épreuve en gros moellons ou en blocs de beaucoup supérieure au poids définitif.

Bélidor conseille de recouvrir ensuite la plate-forme des enrochements de fondation par une couche de béton avec *blocs noyés* dans le *béton* de $1^m,10$ à $1^m,30$ de hauteur, afin de répartir uniformément la charge des constructions supérieures.

A la digue de Cherbourg, cette couche est de 80 cent. d'épaisseur moyenne et s'arrête vers le large, à la rangée extérieure des caisses de défense en béton, et vers l'intérieur à une murette en maçonnerie de moellons. D'après les projets, cet empatement horizontal devait s'étendre

Figures 571 des planches.

même jusqu'à 5 mètres en avant du pied de la muraille vers le large; mais on y a renoncé, parce que la nappe de béton eût été soulevée de bas en haut par l'action syphonante des lames.

On avait même proposé, dans la discussion de ces projets, d'étendre la nappe de béton sur les talus extérieurs des enrochements de foudation jusqu'à 5 mètres en contre-bas du niveau des basses mers. Mais les grandes difficultés et les dépenses de ce travail lui ont fait préférer un revêtissage de $1^{m},25$ d'épaisseur en gros blocs, s'arrêtant par le haut au niveau des basses mers de vive eau, dressé sur 5 mèt. de base pour 1 mèt. de hauteur, et descendant à environ 5 mètres de profondeur. D'ailleurs, on avait objecté que cet encroûtement en béton, en faisant disparaître les aspérités des talus d'enrochement, eût laissé aux vagues plus de vitesse et de force pour frapper la muraille verticale.

M. l'Ingénieur Leroux avait, dans un but opposé, voulu faire élever les blocs de défense jusqu'au *couronnement du môle.* Mais on a repoussé cette idée par la crainte d'une part, que ces blocs remontant dans les tempêtes n'eussent été des moyens de sape et de destruction contre la muraille émergée à laquelle ils auraient été adossés; et que d'autre part, cheminant longitudinalement, ils ne se fussent amoncelés vers les musoirs extrêmes et ne fussent retombés dans les passes.

Ce qu'on a exposé dans la trente-quatrième leçon sur l'emploi des matériaux de construction à la mer, dans la trente-cinquième leçon sur les jetées, dispense d'entrer dans de grands détails sur le mode de construction des *parties émergées des môles.*

Ainsi, si l'on adopte le système de coffrages en bois ou métalliques remplis de blocaille, il est oiseux de recommander que les longuerines et traversines du grillage inférieur et des fermes soient engagées dans la couche de béton. Mais l'adhérence du bois au béton étant très-faible, le coffrage en bois ne résistera à l'action des vagues que par sa masse, dont le poids devrait être équivalent à celui d'une muraille en maçonnerie.

Figures 609 des planches. La partie émergée des môles, d'*une grande largeur au couronnement*, serait comme les jetées, figures 609 des planches, exécutée avec un noyau de blocaille, contenu dans des compartiments en maçonnerie, et Figures 624 des planches. terminé par un épais dallage en maçonnerie. C'est le système employé dans la plupart des ports d'Italie, et que reproduisent les figures 624 des planches.

Cette disposition avait été proposée aussi par M. l'ingénieur Leroux

pour le massif supérieur de la digue de Cherbourg, au lieu du massif plein en maçonnerie qui a été adopté, et qui est en exécution. Dans les projets de M. Leroux, les murs de rive auraient eu, celui vers le large 11 mètres d'épaisseur moyenne, celui vers l'intérieur $2^m,40$; les murs de refend des compartiments, équidistants de 20 mètres, auraient eu 3 mètres d'épaisseur. Cette combinaison a été repoussée dans l'examen des projets; parce que les tassements de la base, et ceux spéciaux des diverses parties du massif mixte, auraient déliaisonné les trois tranches distinctes; et que les fissures et lézardes ainsi produites, en introduisant la mer dans l'intérieur du massif, en eussent amené la destruction. On avait d'ailleurs fait observer que la plate-forme supérieure de la digue ne devait servir que de chemin de communication entre le fort central et les musoirs extrêmes.

Lorsque le massif de fondation d'un môle a été exécuté avec des caissons, l'exécution de sa partie supérieure se fait comme sur un sol naturel en rocher; et la seule précaution à prendre est de laisser à ce massif le temps de durcir avant de lui faire supporter la charge qu'il doit recevoir.

On a supposé précédemment que la construction des parties d'un môle inférieures et supérieures au niveau des basses mers, serait distincte. Mais dans les ports à faibles marées, quand la profondeur de l'eau dans l'emplacement des môles n'est pas très-grande, et particulièrement pour l'établissement de môles avec piles dans le système de M. Fazio, et par caissons foncés ou non foncés; il pourra être avantageux, pour la rapidité d'exécution, de faire construire les caissons pour toute la hauteur du môle. Car les opérations de mise à flot, de remorque et d'immersion n'en seront alors ni beaucoup plus difficiles, ni beaucoup plus coûteuses.

Du reste les môles, comme les jetées, quel que soit leur système d'exécution, présentent sur leur face intérieure, et au-dessus du niveau des basses mers, des échelles de sauvetage de 50 en 50 mètres au moins; des boucles, ou plutôt des barreaux fixes aussi pour amarrages, espacés à 20^m ou 25^m au niveau des vives eaux ordinaires; des poteaux ou canons d'amarrage en fonte, à 25 ou 30 mètres d'intervalle sur le couronnement.

Et si de plus, les môles servent à l'accostage des navires, aux opérations de chargement et de déchargement des navires de commerce; et à celles d'armement et de désarmement des navires de guerre; des

rampes et des escaliers placés parallèlement et en dedans des parements des môles seront également nécessaires.

Ordre d'exécution. L'ordre d'exécution d'un môle enraciné dans les rives est évidemment de partir de la rive et de s'avancer en mer, afin *qu'il n'y ait jamais pour la construction qu'une seule tête* de l'ouvrage exposée à la mer, et que les parties exécutées servent de chemins aux matériaux pour les parties en exécution. Pour un môle isolé, on partira du centre pour marcher vers les deux extrémités. Si la base est en enrochements, il est essentiel que les zônes partielles soient toutes *du même âge* au moment où s'exécuteront successivement les diverses tranches de la partie émergée du môle.

Toutefois, si l'exécution des enrochements précède de plusieurs années celle du massif supérieur du môle, il arrivera que le haut des enrochements sera bouleversé dans les tempêtes, et qu'une grande partie des matériaux sera jetée vers l'intérieur ou viendra s'amonceler vers les extrémités. C'est ainsi que les enrochements de fondation de la digue de Cherbourg ont été relevés jusqu'à trois fois depuis 1790 jusqu'en 1832 et sur une hauteur de 2 à 3 mètres; et qu'une masse énorme de matériaux y est devenue improductive. Il y a moins d'inconvénients encore dans les tassements plus considérables d'enrochements *récents*, surtout si ces derniers sont d'une composition homogène.

De ces tassements, il résulte même quelquefois des facilités de travail dont on a tiré parti à la digue de Cherbourg. Le plan d'assiette de la muraille devait être définitivement mis au niveau des basses mers d'équinoxe. Le travail eût été condamné à une extrême lenteur, s'il avait fallu couler la couche inférieure de béton à cette cote; mais il a suffi de l'établir au niveau des basses mers de vives eaux ordinaires; et par les tassements. Elle est parvenue ensuite au niveau prescrit.

L'exécution des massifs émergés des môles peut être dirigée d'après la marche adoptée depuis 1833 pour la muraille de la digue de Cherbourg.

L'insuffisance des crédits annuels ayant empêché de travailler à la fois sur les deux branches à partir du fort central, on ne s'est occupé que de la branche de l'Est qui est la plus courte, afin de mettre le plus tôt possible la rade et l'entrée du nouveau port militaire à l'abri des vents du nord-Est, qui sont à Cherbourg les plus fréquents et les plus tenaces, et afin de rendre ainsi plus tôt productifs les fonds dépensés.

On pose dans une première période de temps, mais seulement *jusqu'au*

niveau des basses mers de morte eau, la longueur de muraille que l'on veut élever dans la deuxième période. Dans la deuxième période, on élève cette longueur seulement jusqu'au niveau des hautes mers des vives *eaux ordinaires.* Dans une troisième période, elle est exhaussée jusqu'au niveau des plus hautes mers d'équinoxe, où elle n'est plus franchie que par les vagues dans les tempêtes. On a réservé jusqu'aux derniers temps de l'achèvement de la digue, où les tassements de la base en enrochements auront probablement cessé, l'exhaussement final jusqu'au dallage de la plate-forme et la construction du parapet définitif.

On a ajourné à la même époque la construction des musoirs extrêmes, des forts qui y seront élevés, ainsi que celle du fort central, parce que ces ouvrages n'ont qu'une importance défensive qui doit céder aux exigences maritimes, et que leur dépense ne pourra se faire qu'avec des crédits *spéciaux*.

On présente dans le tableau ci-après les renseignements qu'on a pu recueillir sur les môles des principaux ports dans l'Océan et dans la Méditerranée, hors de France et en France. C'est plutôt un cadre ouvert pour recevoir ceux qui manquent.

Tableau relatif aux môles des principaux ports français et étrangers de l'Océan

DESIGNATION DES MOLES	VENTS régnants.	DIRECTION des vents dans les tempêtes.	ORIENTEMENT général de la longueur des môles.	ORIENTEMENT de l'axe de l'ouverture de la passe.	SURFACE approximative du mouillage abrité.	LARGEUR du débouché des passes.	Différence observée ou présumée entre les hauteurs des vagues dans les gros temps en dedans et en dehors des môles.	HAUTEURS APPROXIMATIVES du couronnement du môle au-dessus des plus hautes mers calmes.	HAUTEURS APPROXIMATIVES du parapet supplémentaire à la précédente.	HAUTEURS APPROXIMATIVES de couronnement au-dessus des basses mers.	HAUTEURS APPROXIMATIVES de couronnement au-dessus du fond.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ports de l'Océan à l'étranger, hors de France.											
Breakwater ou brise-lame de la Delaware, en exécution aux États-Unis	N.-O. à l'Est en passant par le nord.	Du N.-O. à l'Est en passant par le nord.	O.-N.-O. à l'E.-S.-E.	1re passe, du N.-E. au S.-O. 2e passe, de l'E.-N.-E. à l'O.-S.-O.	mèt. q. 402 041	mèt. 020 407	m. 1,00	m. 1,02	m. »	m. 3,00	m. 10,00
Breakwater ou brise-lame de Plymouth, en exécution en Angleterre.	Du S.-E. au S.-O. par le sud.	Du S.-E. au S.-O. par le sud.	E.-N.-E. à l'O.-S.-O.	1re passe, du nord au sud. 2e passe, du N.-E. au S.-O.	4.500.000	600 1427	2,00	0,97	»	0,40	10,00
Môle de Holyhead en Angleterre, tel qu'il avait été projeté.	Du S.-O. au N.-O.	»	»	»	»	»	»	1,00	0,44	»	14,00
Môle des petites îles d'Écosse, construit par l'ingénieur Telford	Du S.-E. au S.-O. par le sud.	»	Est-ouest.	Passe unique du S.-E. au N.-O.	1 000	20	»	»	»	»	4,00
Môle du port de Frasenburg en Écosse, construit par l'ingénieur Telford.	De l'Est à l'ouest par le nord.	»	Est à l'ouest.	Est-ouest.	»	»	»	»	1,40	»	5,00
1er môle sud. . . } de Ross en Écosse.	»	»	N.-O. au S.-E.	Passe unique du N.-E. au S.-O.	1.040	10	»	40,00	1,00	0,00	0,00
2e môle nord . . } Construits par l'ingénieur Telford.			*Id.*	*Id.*	»	»	»	0,80	»	6,00	4,00 moyennemt.
Môle du port de Maholmach, construit par l'ingénieur Telford	»	»	Est à l'ouest.	»	»	»	»	»	1,00	2,00	0,40
Môle de Bampf en Écosse, construit par l'ingénieur Telford.	»	Du N.-O. au N.-E.	Est-ouest.	Passe unique de l'Est à l'O.	»	00	»	»	3,00	»	0,00
Rades et ports de l'Océan en France.											
Digue de Cherbourg, en exécution.	Du sud à l'ouest.	Du N.-O. au N.-E.	Est-ouest.	Passe de l'Est du N.-E. en S.-O. Passe de l'ouest du N.-O. au S.-E.	6.400.000	800 2300	4,00	1,50	5,00	0,30	20,00 moyennemt.
Môle de Granville en prolongement.	*Id.*	Du S.-O. en N.-O.	1re branche du N. au sud. 2e branche de l'Est à l'ouest.	Du S.-E. au N.-O.	110 000	100	»	»	»	»	7,00
Môle des Noires en construction à Saint-Malo.	Du sud à l'ouest.	De l'ouest au nord.	Du N.-E. au S.-O.	De l'ouest à l'Est.	604.000	550	»	»	2,00	»	»
Brise-lame du Nay de l'avant-port de Saint-Servan.	*Id.*	*Id.*	*Id.*	*Id.*	10.000	020	»	0,40	»	»	»
Môle de Roscoff	*Id.*	*Id.*	O.-N.-O. à E.-S.-E.	1re passe, de l'E. à l'ouest. 2e passe, *id.*	»	»	»	»	1,05	»	8,10
Môle de Camaret dit le Sillon	*Id.*	*Id.*	O.-S.-O. à E.-N.-E.	Nord et sud.	»	»	»	»	»	»	»

et de la Méditerranée sur lesquels on a pu obtenir quelques renseignements.

LONGUEUR totale du développement du môle.	DESTINATION du môle.	PROFIL TRANSVERSAL DU MOLE.	SYSTÈME DE CONSTRUCTION.	ÉPAISSEUR approximative du môle: au couronnement.	au parapet.	ÉPAISSEUR approximative totale à la crête.	ÉPAISSEUR transversale approximative: au niveau des basses mers.	au fond de la mer.
13	14	15	16	17	18	19	20	21
mètres. 1100	Pour abriter le mouillage et arrêter les glaces et les sables.	Section trapézoïdale, à talus variables, ayant vers le large 90 metres de base totale pour 12 metres de hauteur; et 12 metres de base pour 10 metres de hauteur vers l'intérieur.	Noyau en blocs de moyenne grosseur, recouverts vers le large de gros blocs dont le poids va en augmentant du bas en haut.	m. 9,70	m. »	m. 9,70	m. 90,00	m. 85,00
1880	Pour abriter la rade et concourir à la défense militaire.	La section transversale se compose de deux trapèzes superposés. Le trapese inférieur a sur ses deux rives des talus de 9 et 9 metres de base pour 1 met. de hauteur au large et à l'intérieur. Le trapeze supérieur, en retraite sur le precédent vers le large, par une risberme de 21 metres de largeur, présente un talus vers le large de plus de 2 metres de base pour 1 metre de hauteur, et vers l'intérieur de $1^{m},2$ de base pour 1 metre de hauteur.	Noyau en blocs d'enrochements, recouverts dans le couronnement et sur le talus vers le large du trapèze supérieur de la section, par des blocs de la plus grande dimension, taillés et liés par des plâtres-ciments énergiques.	10,80	»	10,80	70,00	120,00
1900	A abriter la rade et à fournir des terre-pleins au Commerce.	Section transversale composée de deux trapèzes en retraite l'un sur l'autre par une risberme de 12 metres. Les talus, vers le large des deux trapèzes, étaient projetés à 9 de base pour 1 mètre de hauteur; et les talus intérieurs à environ $1^{m},50$ de base pour 1 metre de hauteur.	Noyau en blocs d'enrochement, avec très-gros blocs pour les revêtissages vers le large.	10,00	2,46	17,46	»	82,00
80	*Id.*	Section presque rectangulaire.	Deux murs en maçonnerie séparés par un noyau en blocaille.	4,80	»	4,80	»	6,50
910	*Id.*	Section trapézoïdale presque rectangulaire.	*Id.*	10,00	2,00	12,00	»	14,80
1er môle 70	*Id.*	Section presque rectangulaire présentant deux surfaces curvilignes vers le large et vers l'intérieur.	*Id.*	2,40	1,20	9,90	10,90	10,90
2e môle 26	Pour abriter seulement.	Section trapézoïdale avec talus à 45°.	En enrochements recouverts de gros blocs sur les talus et le couronnement.	8,20	»	8,20	»	7,40
120	Pour abriter et fournir des terre-pleins au commerce.	Section presque rectangulaire avec parements à talus abrupts vers l'intérieur, et curvilignes vers le large.	Deux murs en maçonnerie avec noyau en blocaille intermédiaire.	8,40	1,20	1,00	9,10	10,00
170	*Id.*	Section présentant un talus abrupt vers l'intérieur, et une surface curviligne vers l'extérieur.	Mur en maçonnerie fondé sur caissons à l'intérieur. Noyau en blocaille, revêtu sur la surface curviligne de larges et gros blocs d'enrochements.	9,00	4,00	10,00	»	10,00
2763	Abriter et concourir à la défense.	La section est formée de deux trapèzes superposés et séparés par une risberme de 9 mètres. Le trapèze inférieur est formé dans l'intérieur d'un talus de 1 mètre de base pour 1 mètre de hauteur; et vers le large de talus variables, depuis 42 mètres de base pour 9 mètres de hauteur jusqu'à 2 mètres de base pour 1 mètre de hauteur. Le trapèze supérieur est presque rectangulaire.	Le trapèze inférieur est en enrochements de petites pierres, recouvert en gros blocs vers le large. Le trapèze supérieur, presque rectangulaire, est en massif plein en maçonnerie parementée des deux côtés en pierre de taille.	9,80	9,80	8,00	11,[illegible]	100,00
800	A abriter et à servir de quai.	Section presque rectangulaire.	Massif plein en maçonnerie parementée des deux côtés.	»	»	12,00		
290	A abriter.	Section presque rectangulaire.	Massif plein en maçonnerie parementée des deux côtés.	»	»	8,00		
920	A abriter.	Section presque triangulaire.	Massif en gros blocs, revêtu extérieurement par des pierres.	9,80	»	9,80		
812	Abriter et concourir à la défense.	Section presque rectangulaire avec banquette de 8 metres de largeur en dedans du parapet.	Murs de rive en maçonnerie de pierres sèches avec blocaille intermédiaire.	10,10	1,70	12,80	»	14,00
822	A abriter.	Section presque rectangulaire.	Maçonnerie en pierres sèches.	9,00	»	9,00		

DÉSIGNATION DES MÔLES.	VENTS régnants.	DIRECTION des vents dans les tempêtes.	ORIENTEMENT général de la longueur des môles.	ORIENTEMENT de l'axe de l'ouverture de la passe.	SURFACE approximative du mouillage abrité.	LARGEUR du débouché des passes.	Différence observée ou présumée entre les hauteurs des vagues dans les gros temps en dedans et en dehors des môles.	HAUTEURS APPROXIMATIVES du couronnement du môle au-dessus des plus hautes mers calmes.	HAUTEURS APPROXIMATIVES du parapet supplémentaire à la précédente.	HAUTEURS APPROXIMATIVES du couronnement au-dessus des basses mers.	HAUTEURS APPROXIMATIVES du couronnement au-dessus du fond.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Môle de Saint-Martin dans l'île de Ré	Du sud à l'ouest.	Du sud à l'ouest.	Est-ouest.	1re passe, du N.-E. au S.-O. 2e passe, du nord au sud.	mét. q. 3.400	mèt. 18	m. »	m. »	m. »	m. »	m. 7,00
Môles de Socoa dans la rade de Saint-Jean-de-Luz	Id.	De l'ouest au N.-E.	1er môle de l'Est à l'ouest. 2e môle du N.-O. au S.-E.	Du N.-O. au S.-E.	1.540	80	2,00	3,00	1,00	»	8,00
Môles dans la Méditerranée hors France.											
Trieste.											
Grand môle de Sainte-Thérèse, exécuté. . . .	»	Du nord au sud par l'ouest.	Du nord au S.-E.	1re passe, du N.-O. au S.-E.	80.800	1re passe 1.200	»	1,25	»	4,75	»
Môle de l'anse du Lazaret, exécuté à deux branches.	»	Id.	Du N.-O. au S.-E.	2e passe, du S.-O au N.-E.	87.900	2e passe 21	»	1,80	4,00	1,75	8,00
Venise.											
Murazzi de la côte de Venise, exécutés. . . .	Sud au nord par l'Est.	Du sud au nord par l'Est.	»	»	»	»	3,35	3,10	»	3,85	7,00
Ancône.											
Môle neuf au nord, exécuté.	»	Du nord au sud par l'O.	Du nord au sud.	Passe unique de l'E. à l'O., de 240 mètr.	230.400 contre les vents du S.-O.	»	»	2,00	»	3,00	8,00
Môle ouest existant.	»	»	De l'Est à l'ouest.	Id.	687.400 contre les vents du N.-N.-E.	»	»	»	»	»	»
Port de Trani dans l'Adriatique.											
Môle ancien, saillant sur la côte ouest, existant.	»	Du N.-O. à l'Est par le N.	Id.	1re passe de l'Est, orientée Est et ouest.	60.800 contre les vents du nord.	1re passe 135	»	3,03	3,38	3,30	8,00
Môle nouveau, saillant sur la côte est, existant.	»	Id.	Du nord au sud.	»	58.245 contre les vents d'Est.	2e passe à l'ouest de 34	»	3,00	3,08	3,80	4,70
Môle isolé en exécution.	»	Id.	O.-N.-O. à E.-S.-E.	2e passe du nord, orientée N.-S.	38.124 à la fois contre les vents du nord et ceux d'Est.	»	»	2,00	3,35	3,85	7,00
Pouzzoles.											
Môle du port de Pouzzoles dans le golfe de Naples, en restauration	»	De l'ouest à l'Est par le N.	Du N.-E. au S.-O.	»	»	»	2,00	1,00	4,40	3,40	7,80
Port de Civita-Vecchia.											
Môle saillant sur la côte à l'Est, dit Bichière, existant	De l'est à l'ouest par le sud.	De l'Est à l'ouest par le sud.	Est à l'ouest.	1re passe, du S.-E. au N.-O.	130.800 abrités contre les vents du large.	1re passe 135	»	4,00	»	3,00	14,00
Môle saillant, exécuté à l'ouest du môle de Lazaret, existant.	Id.	»	Du N.-N.-E. au S. S.-O.				»	4,00	»	3,00	14,00
Ancien môle isolé de Trajan, existant.	Id.	»	Du N.-O. au S.-E.	2e passe, du N.-O. au S.-E.		2e passe 400	»	4,00	»	3,00	14,00
Môle du port de Livourne, existant	Id.	Id.	Du S.-E. au N.-O.	Passe unique du S.-E. au N.-O.	180.000 abrités contre les vents de S.-O.	200	»	»	»	»	»
Môles du port de Gênes.											
Môle vieux à l'Est, existant	Id.	Id.	E.-N.-E. à O.-S.O.	Id.	720.000 abrités contre le S.-E.	»	»	»	»	7,00	16,00
Môle neuf exécuté à l'ouest, existant	Id.	Id.	O.-N.-O. à E.-S.-E.		842.170 abrités contre le S.-O.	»	»	»	4,00	3,00	20,00
Môle de Villefranche, existant	Id.	Id.	Du S.-O. au N.-E.	Du S.-O. au N.-E.	834.088 abrités contre les vents de S.-E.	88	»	3,33	2,24	4,33	8,80

LONGUEUR totale du développement du môle.	DESTINATION du môle.	PROFIL TRANSVERSAL DU MOLE.	SYSTÈME DE CONSTRUCTION.	ÉPAISSEUR approximative du môle — au couronnement.	ÉPAISSEUR approximative du môle — au parapet.	ÉPAISSEUR approximative totale à la crête.	ÉPAISSEUR transversale approximative — au niveau des basses mers.	ÉPAISSEUR transversale approximative — au fond de la mer.
13	14	15	16	17	18	19	20	21
mètres. 223	A abriter et concourir à la défense.	Section presque rectangulaire.	Murs de rive en maçonnerie avec noyau intermédiaire en blocaille	m. »	m. »	m. 10,00	m. »	m. 13,50
1er môle 200 2e môle 112	A abriter et fournir des quais au commerce.	Section trapézoïdale en surface curviligne concave vers le large.	*Id.*	12,00	7,50	20,00	»	24,00
400	A abriter et concourir à la défense.	Section trapézoïdale au-dessous des basses mers avec talus de 6 mètres de base pour 1 mètre de hauteur, et talus de 45° à l'intérieur. Section rectangulaire au-dessus des basses mers. Le parapet est un véritable mur d'abritement qui divise le couronnement en deux zones distinctes d'abritement.	Le trapèze inférieur est en enrochements recouverts de gros blocs. Le rectangle supérieur présente deux murs de rive avec blocaille à l'intérieur.	»	»	33,00	»	40,00
322 à l'ouest. 142 à l'Est.	*Id.*	*Id.*	*Id.*	4,40	1,00	8,40	»	22,00
»	Défendre la côte.	*Id.*	*Id.*	»	»	4,50 à 7,00	»	33,30
520	A abriter et fournir des quais, et concourir à la défense.	Section trapézoïdale avec talus : vers l'extérieur, de plus de 2 mètres de base pour 1 mètre de hauteur; et à l'intérieur, de $1^m,22$ de base pour 1 mètre de hauteur.	Noyau en pierres ordinaires, revêtu de gros blocs à l'extérieur des talus et au couronnement.	17,20	6,40	21,05	»	44,00
330	A abriter et concourir à la défense.	Comme aux môles de Trieste.	Comme aux môles de Trieste.	»	»	7,20	»	44,00
20	Abriter.	Section trapézoïdale au-dessous des basses mers, avec talus de 2 mètres de base pour 1 mètre de hauteur vers le large, et talus de $1^m,22$ de base pour 1 mètre de hauteur. Section rectangulaire au-dessous des basses mers.	Murs de rive en maçonnerie de pierre de taille, avec noyau en maçonnerie ordinaire dans le rectangle supérieur, et enrochements recouverts de gros blocs dans le trapèze inférieur.	3,20	1,00	3,20	»	14,00
33	Abriter.	*Id.*	*Id.*	»	»	13,00	»	22,00
380	Abriter.	Môle tronçonné, formé de piles en maçonnerie de $8^m,20$ de largeur, réunies par des arches de 4 mètres d'ouverture. Le tout est surmonté d'une muraille formant parapet.	Les piles sont exécutées en maçonnerie de pierre de taille.	2,20	3,00	7,80	7,80	7,80
330	A abriter et fournir des quais.	Môle tronçonné comme le précédent. Les vides ont $12^m,00$ et les pleins ont 15 mètres.	*Id.*	11,00	3,00	15,00	18,00	15,00
420	A abriter et à fournir des quais, et concourir à la défense.	Comme le môle de Trajan ci-dessus.	*Id.*	11,00	3,50	14,00	»	44,00
400	*Id.*	*Id.*	*Id.*	»	»	10,00	»	48,20
327	A abriter, à fournir des quais et concourir à la défense.	Au-dessous du niveau des basses mers un trapèze avec talus, de plus de 2 mèt. de base pour 1 m. de hauteur vers le large, et de 45° à l'intérieur. Au-dessus des basses mers, deux rectangles superposés de diverses grandeurs.	La section trapézoïdale inférieure est en enrochements recouverts de gros blocs. Les sections rectangulaires sont avec murs de rive en maçonnerie, avec noyaux intercalaires en blocaille.	24,00	3,00	27,00	27,00	27,00
302	A abriter et fournir des quais.	*Id.*	*Id.*	13,70	3,00	16,70	16,70	27,00 au moins.
622	*Id.*	*Id.*	*Id.*	18,00	1,00	20,50	22,00	17,00
456	*Id.*	*Id.*	*Id.*	12,00	3,00	12,00	22,05	33,00
300	A abriter, à fournir des quais et concourir à la défense.	Au-dessous du niveau des basses mers, un trapèze avec talus de plus de 2 mètres de base sur 1 mètre de hauteur vers le large. Au-dessus de ce niveau un trapèze presque rectangulaire.	La section trapézoïdale inférieure est en enrochements recouverts de gros blocs. La section rectangulaire supérieure est avec murs de rive en maçonnerie, avec noyau intercalaire en blocaille.	7,10	1,70	8,80	11,80	16,00

DÉSIGNATION DES MOLES.	VENTS régnants.	DIRECTION des vents dans les tempêtes.	ORIENTEMENT général de la longueur des môles.	ORIENTEMENT de l'axe de l'ouverture de la passe.	SURFACE approximative du mouillage abrité.	LARGEUR du débouché des passes.	Différence observée ou présumée entre les hauteurs des vagues dans les gros temps en dedans et en dehors des môles.	HAUTEURS APPROXIMATIVES du couronnement du môle au-dessus des plus hautes mers calmes.	HAUTEURS APPROXIMATIVES du parapet supplémentaire à la précédente.	HAUTEURS APPROXIMATIVES du couronnement au-dessus des basses mers.	HAUTEURS APPROXIMATIVES du couronnement au-dessus du fond.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Môles de Nice.							m.	m.	m.	m.	m.
Môle extérieur sud, existant.	De l'Est à l'ouest par le sud.	De l'Est à l'ouest par le sud.	Du S.-E. au N.-O.	Passe unique du S.-E. au N.-O.	»	Passe unique de 62 mètres de débouché.	»	6,00	»	7,00	18,00
Môle intérieur nord, existant.	*Id.*	*Id.*	De l'Est à l'ouest.				»	6,00	»	4,50	10,00
Alger (colonies).											
Môle de Cheredin, existant au nord	*Id.*	N. O. au S.-E.	E.-N.-E. à O.-S.-O.	»	mèt. q. 99.927 abrités contre les vents d'Est.	Passe principale 130 m.	»	»	»	»	»
Môle-jetée exécuté à l'Est	*Id.*	*Id.*	N.-E. au S.-O.	Du nord au sud.			»	»	»	»	»
Môle du Lazaret, existant.	*Id.*	*Id.*	»	»			»	»	»	»	»
Môles de la Méditerranée en France.											
Môles du port d'Antibes.											
Môle de l'Est, existant, avec tracé brisé suivant les lignes déterminées.	*Id.*	Du N.-E. au S.-E. en passant par l'Est.	N.-O. au S.-E.	Passe de la baie dirigée de l'E.-N.-E. à l'O.-S.-O.	690.000 contre les vents d'Est	Passe de la baie 600 mèt.	»	»	»	»	»
Môle de l'ouest, existant.	*Id.*	*Id.*	N.-N.-O. au S.-S.-E.	Passe du port du N.-O. au S.-E.		Passe du port 70 mèt.	»	»	»	»	»
Môle du port de Cannes.	Du S.-E. à l'ouest par le sud.	Du S. E. à l'ouest par le sud.	Du S.-E. au N. O.	»	130.000 contre les vents de S.-O.	»	4,00	2,00	0,00	0,00	de 7,00 à 11,00
Môles de Saint-Tropez.											
Môle exécuté au sud	*Id.*	Du N.-O. au S.-O. par l'ouest.	Du N. N.-O. au S.-S.-E.	Passe unique du N.-O. au S.-E.	257 000 abrités contre les vents de N.-O.	»	»	»	»	»	»
Môle exécuté au nord	*Id.*	*Id.*	E.-N.-E. à l'O.-S.-O			»	»	»	»	»	»
Môles de Saint-Nazaire.											
Môle exécuté à l'Est.	*Id.*	Du S.-E. à l'ouest par le sud.	»	»	»	Passe unique 050 mèt.	»	»	»	»	»
Môle exécuté à l'ouest	*Id.*	*Id.*	»	»	»		»	»	»	»	»
Môles de la Ciotat.											
Môle neuf, exécuté au sud.	Du N.-E. au S.-O. par le sud.	Du N.-E. au S.-O. par le sud.	De l'E.-N.-E. à O.-S.-O.	Du S.-E. au N.-O.	60.000 abrités contre les vents de S.-E.	Passe unique 105 mèt.	»	»	»	0,00	8,00
Môle Béraud, en exécution à l'Est	*Id.*	*Id.*	Du N.-O. au S.-E.				»	»	»	0,00	»
Cassis.											
Môle du port de Cassis.	*Id.*	*Id.*	N.-E. au S.-O.	»	»	»	»	»	»	»	»
Môles du port de Cette.											
Grand môle Saint-Louis, exécuté	Du S.-O. au N.-E. par le sud.	Du S.-O. au N.-E. par le sud.	Est et ouest.	1re passe à l'ouest, dirigée du S. O. au N. E.	2 507.400 abrités contre les vents du S.-E.	1re passe de 300 mèt.	»	»	»	»	»
Jetée de Frontignan prolongée.	*Id.*	*Id.*	Nord et sud.				4,00	»	»	»	»
Brise-lame môlé, en exécution.	*Id.*	*Id.*	Du S.-E. au N.-O.	2e passe à l'Est, orientée du N.-E. au S.-E.		2e passe de 030 mèt.	»	4,00	2,00	0,00	18,00

LONGUEUR totale du développement du môle.	DESTINATION du môle.	PROFIL TRANSVERSAL DU MOLE.	SYSTÈME DE CONSTRUCTION.	ÉPAISSEUR approximative du môle: au couronnement.	au parapet.	ÉPAISSEUR approximation totale à la crête.	ÉPAISSEUR transversale approximative: au niveau des basses mers.	au fond de la mer.
13	14	15	16	17	18	19	20	21
mètres. 618	Abriter.	Au-dessous du niveau des basses mers un trapèze avec talus de plus de 6 mètres de base sur 1 mètre de hauteur vers le large. Au dessus de ce niveau un trapèze presque tangulaire.	Le noyau de la partie inférieure des môles est en maçonnerie fondée par caissons foncés, à laquelle sont adossés, en dedans et en dehors, des enrochements en talus. La partie supérieure est en maçonnerie pleine.	m. 8,00	m. 8,80	m. 7,80	m. 10,00	m. 80,00
114	Abriter.			8,00	0,00	3,88	11,00	36,00
170	A abriter et à fournir des quais.	Id.		»	»	100,05	100,00	
100	Id.	Id.	Id.	»	»	37,00 au moins.	37,00 Id.	
70	Id.	Id.		»	»	10,00 au moins.	10,08 Id.	
408	Id.	Id.	Id.					
184	Id.	Id.	Id.					
190	A abriter et à fournir des quais.	Id.	Id.	9,00	4,00	10,00	80,00	80,00 au moins.
40	Id.	Id.	Id.	»	»	20,00	00,00	00,00
180	Abriter.	Id.	Id.	6,00	1,80	7,00	7,00	48,00 au moins.
88	A abriter et à fournir des quais.	Comme au môle de Villefranche ci-dessus.	Comme au môle de Villefranche ci-dessus.					
180	Id.	Id.	Id.					
848	Id.	Id.	Id.	18,00	1,80	16,00	14,00	38,00
100	Id.	Id. *Nota.* Le parapet, formant muraille, divise les terre-pleins des deux môles en deux portions.	Id.	17,00	1,00	18,00	10,00	40,00 environ.
200	Id.							
600	A abriter et à fournir des quais.	Section trapézoïdale au-dessous des basses mers, à talus de 6 mètres de base pour 1 mètre de hauteur sur le large, et de 45° à l'intérieur. Section rectangulaire au-dessus des basses mers.	Le trapèze inférieur est un noyau d'enrochements recouvert de gros blocs vers le large. Le rectangle supérieur est formé de deux murs de rive avec noyau de blocaille.	»	»	15,00 au moins.	»	27,00
700	A abriter et à arrêter les ensablements.	Section trapézoïdale de 3 mètres de base pour 1 mètre de hauteur environ vers le large, et de $1^m,50$ de base pour 1 mètre de hauteur vers l'intérieur.	Noyau en blocaille revêtu de gros blocs vers le large.	»	»	10,00 au moins.	»	22,00
470	Id.	La section transversale est formée de deux trapèzes, l'un supérieur, au niveau des basses mers, à talus inclinés vers le large et abruptes à l'intérieur; l'autre, inférieur à ce niveau, présente vers le large des talus très-allongés, et à l'intérieur des talus à 45°.	Les trapèzes supérieur et inférieur sont tous deux avec noyaux en blocs ordinaires; le trapèze inférieur est recouvert de gros blocs vers le large; le trapèze supérieur est *parementé* en gros blocs du même côté.	18,00	3,88	18,00	18,00	84,00

Avant-ports et ports d'échouage.

Dans les localités situées en pleine côte, et qui *ne sont pas* en arrière *d'une rade couverte*, le port proprement dit est presque toujours précédé de l'avant-port, dont l'utilité spéciale est de faciliter aux navires venant du large, les moyens d'amortir graduellement leur vitesse, et de faire serrer leurs voiles avant d'arriver au port de déchargement ou de pénétrer dans les bassins à flot; comme aussi de permettre aux navires partants de faire toutes les dispositions d'appareillage avant d'aller au large. Les ports de Dieppe, Fécamp, et celui du Havre, depuis l'établissement de l'arrière-port, dit *port neuf*, ont la précieuse propriété, par leur exposition, de permettre à un navire d'arrêter son *air* en manœuvrant sous voiles.

L'avant-port est aussi ordinairement destiné aux navires en relâche qui supportent l'échouage, et il offre un refuge aux petits bâtiments de cabotage et de pêche qui n'ont pas besoin, à raison de leur faible tirant d'eau, d'attendre le plein de la mer pour entrer ou sortir.

La description et les plans des ports de Dunkerque, Dieppe, Fécamp, du Havre, Cherbourg (port militaire), Saint-Malo, La Rochelle, Cette, ont fait connaître la position et la grandeur de leurs avant-ports. Quand les localités le permettent, on donne, comme au Havre, au moins deux encâblures ou 400 mètres de longueur à l'avant-port (à Honfleur, l'avant-port projeté n'aura cependant que 120 mètres de large) pour que les bâtiments puissent entrer sous voile et virer dans le vent. Sinon l'on y supplée, quand cela est possible, par une extension de l'avant-port sur un des côtés.

La largeur de l'avant-port dépend de la quantité et de la grandeur des navires qui entrent et sortent simultanément pour déposer et prendre leur charge, et de ceux qu'une tempête a forcés de relâcher. Si l'avant-port est à échouage, il est désirable que le fond en soit mou; ainsi, à Saint-Malo, où il est naturellement de roches, on laisse à dessein des alluvions de sable s'y déposer sur une assez grande épaisseur.

Ports d'échouage. A la suite de l'avant-port est le port d'échouage proprement dit, où stationnent les navires qui peuvent supporter l'échouage pour les armements et désarmements. En Angleterre, on lui donne le nom de *dry-dock*, mais particulièrement lorsqu'il est bordé de magasins destinés au dépôt temporaire ou définitif des marchandises.

S'il peut y avoir des quais des deux côtés, la largeur du port doit être au moins telle que sur la longueur de chaque rive il y ait deux et même trois lignes de navires, et qu'entre ces deux groupes il y ait une passe pour les mouvements d'entrée et de sortie. Dans chaque groupe il faut réserver du reste des voies permanentes ou facultatives pour communiquer de la passe centrale aux *chantiers de construction, grils de carénage, bassins à flot, formes de radoub* établis sur les rives.

Le port d'échouage du commerce de Cherbourg, sur sa longueur actuelle de 210 mètres et sa largeur de 200 mètres, a reçu, dans les gros temps, jusqu'à 150 bâtiments formant un tonnage total de 12,000 tonneaux.

Les rives de l'avant-port, comme celles du port, sont bordées de quais, d'estacades en bois ou de plans inclinés, de cales débarcadères, d'échelles de sauvetage, d'escaliers, pour servir également au stationnement des navires en charge ou en décharge et à leurs communications avec les terre-pleins des rives.

L'on place aussi autant que possible dans l'avant-port ou dans la partie la plus voisine de la mer des ports d'échouage sans avant-ports, les divers chantiers de construction et de radoub mentionnés plus haut, et par les motifs suivants :

1° Afin de laisser la plus grande longueur possible de quais dans le port proprement dit et dans le voisinage des magasins du commerce et de moins déranger les navires stationnants;

2° Parce que les établissements en question exigent de grandes superficies qu'on n'obtiendrait que difficilement et à prix élevé dans l'intérieur d'une ville maritime;

3° Parce que les ouvrages utiles pour le sauvetage et la réparation d'un bâtiment avarié doivent être à sa portée.

Ces chantiers ne doivent pas d'ailleurs, autant que possible, et à moins d'une *agitation trop violente dans l'avant-port* ou port d'échouage, être placés sur les rives et à l'intérieur des bassins de flot ou docks dont il sera question plus bas; car on perdrait l'avantage de pouvoir les visiter à chaque basse mer, et les fermetures des formes *sèches de radoub* entr'autres, supporteraient constamment la pression de l'eau maintenue à un niveau permanent dans les *bassins de flot*.

L'étendue superficielle, le développement des quais d'un port d'échouage, dépendent au reste de sa destination. Ainsi, quand ce port doit servir à la fois aux relâches momentanées des navires qui s'y réfugient de tous

côtés pendant le gros temps aux armements et désarmements militaires, et aux opérations du commerce local, il réclame des dimensions bien autrement grandes que s'il ne servait qu'à ce dernier objet. Mais cette augmentation doit porter évidemment beaucoup plus dans ce cas sur la *surface* que sur le *périmètre* des quais. Il faut s'attacher au contraire à un grand développement de quais, lorsque le port n'est consacré qu'à des exportations ou importations de marchandises.

Aux États-Unis d'Amérique, des terre-pleins espacés de 90 à 120 mèt. soutenus par des quais de 15 à 20 mètres de largeur, s'avancent en mer perpendiculairement aux rives des ports, sur 60 à 90 mètres de longueur, et forment ainsi des enceintes d'eau dont trois côtés peuvent servir au stationnement et aux opérations de débarquement et d'embarquement des navires.

Ces ouvrages, qui exigent des draguages annuels, sont du reste des propriétés particulières dont l'usage est réglé par des tarifs.

Quais et plans inclinés sur les rives des ports.

Les terre-pleins insubmersibles des quais riverains de l'avant-port et du port ont une largeur en rapport avec l'*activité du commerce local*. Le minimum devrait être de 20 mètres; car ces terre-pleins servent en même temps de routes et de places; cependant dans beaucoup de localités, l'on a été forcé de se restreindre jusqu'à 8 mètres.

Des maisons élevées du côté des vents régnants préviennent au reste l'agitation locale de la surface des eaux.

Les quais sont tantôt des murailles presque verticales en maçonnerie ou en bois, tantôt des plans inclinés allongés à la pente minimum de $\frac{1}{12}$. Ce dernier système, dans les ports à marée, enlève une grande surface de terrain aux besoins du commerce, expose les marchandises à être avariées dans leur dépôt sur une plage humide et vaseuse, enfin exige des ponts embarcadères fixes ou des ponts de bateaux et des raz analogues à ceux qui ont été décrits dans la 23ᵉ leçon pour communiquer du pont des navires à flot ou échoués avec les rives insubmersibles.

Dans les ports non sujets aux marées, des plans inclinés auraient moins d'inconvénients surtout si l'on ne plaçait leur seuil inférieur qu'en contre-haut du niveau de l'eau.

Néanmoins l'on préfère généralement des murailles presque verticales partout où il est possible de les établir; parce que les navires peuvent ainsi toucher aux terre-pleins, et que les mouvements des marchandises

et munitions s'opèrent alors avec facilité à l'aide de grues fixes ou amovibles, ou à l'aide des mâts et gréements des bâtiments eux-mêmes.

En Angleterre on a dressé les parois de ces quais en surfaces courbes analogues à celles des flancs des navires, pour le double objet de rendre les quais plus résistants aux poussées des terres, et de répartir sur une plus grande surface les chocs éventuels des navires; mais il en résulte plus de dépense dans l'exécution. Figures 42 et 43 des planches.

Dans l'origine, beaucoup de ces murailles ont été faites en bois ou en maçonnerie de pierres sèches et même en fascinages. Les quais en bois sont encore en usage à cause de la rareté de la pierre en Hollande, en Flandre, et dans les ports des États-Unis à raison de la grande abondance du bois. Les figures 625 des planches représentent quelques-uns de ces ouvrages. Les pieux de la face des quais sont jointifs aux États-Unis, et la plate forme des terre-pleins est bordée en bois ou pavée en cailloux ronds. Figures 625 des planches.

Le rapide dépérissement de quelques-unes de ces constructions, la facile destruction des autres par le choc des vagues et des navires, y ont fait substituer progressivement des murs de soutènement en maçonnerie de mortier hydraulique avec moellons ou pierres de taille.

Pour mettre leurs parements à l'abri des chocs de toute espèce, on incruste assez ordinairement de distance en distance des pièces de bois dans des rainures verticales et l'on borde dessus avec des madriers ou croûtes de bas prix qu'on renouvelle quand ils sont brisés. Quelques ingénieurs pensent que les quais sont plus dégradés par le scellement de ces poteaux de garde qu'ils ne le seraient par le frottement des bâtiments.

On a déjà dit, à la vingt-cinquième leçon, qu'on exécute en Angleterre et notamment à Deptford des quais en maçonnerie de béton ou de moellons et même en terre revêtus de plaques de fonte; des pieux creux en fonte de fer engagés dans le sol retiennent les plaques Ce système pourrait convenir dans les localités très-infestées de vers marins et où les pierres de taille seraient rares et d'une taille aussi dispendieuse que celle du granit. Figures 338, 339, 340, 341, 342, 343 et 344 des planches.

Les quais des avant-ports et ports d'échouage pour la marine marchande présentent au reste, comme les jetées et môles, des arganeaux espacés de 35 mètres en 35 mètres et même de 20 mètres en 20 mètres suivant la longueur des navires. Ces arganeaux sont placés un peu au-dessus du niveau des hautes mers. Quelquefois on en scelle aussi au niveau des basses mers

pour l'amarrage de fond des navires. De plus, sur les terre pleins en arrière des quais doivent être rangés, à la même distance que les arganeaux, des poteaux en bois, bornes en pierre ou canons en fonte équi-distants, et servant au même objet.

Dans les avant-ports et ports militaires, la grandeur des navires fera disposer les bornes et canons à 19 mètres environ de distance l'un de l'autre.

Enfin des réverbères éclairés à l'huile ou au gaz espacés entre eux de 50 à 70 mètres et à 5 mètres de distance de l'arête des quais, portés par des poteaux en bois ou par des candelabres en fonte faciliteront la surveillance des officiers de port et des douaniers.

Les arganeaux, renfermés dans des sortes de niches des parements, sont formés ordinairement de tiges à pattes en fer et mieux en cuivre qui s'enracinent dans l'épaisseur des murailles et qui sont terminés extérieurement par un piton dans lequel on engage des doubles charnières amovibles soit en fer ou en cuivre sur lesquelles les cordages se fixent. Les figures 626 des planches représentent des arganeaux pour l'amarrage des bâtiments de guerre de 1er rang.

Figures 626 des planches

Dans les quais avec revêtements en fonte mentionnés ci-dessus et même dans quelques quais en maçonnerie en Angleterre, les arganeaux sont en quelque sorte indépendants de ces revêtements et sont retenus par de longs tirans en fer, aboutissant à des points fixes dans l'intérieur des remblais.

Figures 627 des planches.

On a employé à Cherbourg au lieu de pitons à boucles de simples montants *métalliques* ou *barreaux* posés verticalement et horizontalement sur la face extérieure de la niche ordinaire des arganeaux, et autour desquels les cordages sont roulés.

Figures 628 des planches

On y trouvait de plus grandes facilités pour les amarrages lorsqu'ils doivent être très-prompts; car la boucle à charnière est souvent rabattue dans sa niche, et difficile à détacher et à mouvoir.

Les poteaux et bornes d'amarrage doivent être d'une grande résistance et par leur tenue dans le sol et par leurs dimensions; l'usage plus que le calcul a réglé les dimensions de ces objets dans les diverses localités. Le système adopté par M. l'Ingénieur Frissart, au Havre, représenté fig. 629 des planches, semble très-convenable pour les ports de commerce, et a servi dans les gros temps à la tenue simultanée de 4 à 5 navires. Dans les ports militaires on implante en terre par la culasse de vieux canons en fonte hors de service.

Figures 629 des planches

Pour les dimensions des murailles des quais et les modes de fondation et d'exécution, l'on renvoie aux principes généraux énoncés dans les treizième et trente-quatrième leçons, en faisant seulement remarquer de nouveau que, dans l'évaluation des efforts auxquels ces murailles auront à résister, il faut tenir compte ici :

1° De l'action alternative des marées sur les remblais en arrière des quais et sur les maçonneries elles-mêmes ;

2° Des amas considérables de marchandises et de munitions quelquefois d'un très-grand poids qui restent momentanément déposés sur le bord des quais et des remblais en arrière ;

3° Du choc et de la traction des navires amarrés, lesquels tendent à se mouvoir avec une certaine vitesse, soit par les vagues, soit par les courants ;

4° A l'effort des vagues pendant les tempêtes.

Les figures 630 des planches représentent divers profils de quais des ports de Dieppe, du Havre et de Cherbourg. Le prix du mètre courant des quais en maçonnerie parementés en pierres de taille, *dans les ports à marée*, varie depuis 1,500 jusqu'à 3,000 fr. Au port du Havre, le prix moyen de plus de 1,286 mètres de quais a été d'environ 2,200 fr. Figures 630 des planches.

Les quais en maçonnerie des ports de la Méditerranée sont fondés pour la plupart au niveau des basses mers sur des enrochements et quelquefois sur des massifs de béton immergés à l'aide de caissons non foncés ; ce dernier mode paraît préférable lorsque le fond est solide, parce que les enrochements immergés empêchent l'accostage des navires.

Quelques-uns de ces quais ont été construits à l'aide de batardeaux qui avaient à soutenir 7 à 8 mètres de charge d'eau permanente.

Bassins de flot, *darses et docks*.

Les bassins de flot qui appartiennent particulièrement aux *ports sujets aux marées* sont des enceintes isolées d'eau qui ont pour objet de conserver continuellement à flot et à l'abri de l'agitation de la mer les bâtiments qui ne peuvent supporter l'échouage, soit à raison de leur grandeur et de leur système de construction, soit à raison de la nature du fond. Ce n'est d'ailleurs que dans ces bassins qu'on peut, à défaut de formes sèches, ou du remontage sur les cales de construction, faire *à loisir* Considérations générales

la visite des navires, leurs réparations, et les doubler à l'aide de l'opération dite *abattage en carène*.

Dans les ports de la Méditerranée où les dénivellations de la marée sont presque nulles, les bassins qui prennent le nom de *darses* ont en tout temps la profondeur nécessaire aux bâtiments. Leur isolement complet par des fermetures n'y aurait pour objet que de les soustraire à l'agitation de la mer, et n'est presque jamais effectué à cause de la dépense énorme de construction des écluses à portes et des lenteurs qu'il en résulterait pour les mouvements de la navigation. On se borne à entourer les darses par des môles et à resserrer autant que possible leur débouché vers le large.

Les bassins à flot, comme les darses, prennent aujourd'hui le nom anglais de *docks*, toutes les fois que leurs quais sont bordés de bâtiments pour la visite et le dépôt temporaire ou permanent des marchandises.

On a vu par la description des principaux ports français, de quelle importance sont les bassins à flot dans les grandes places commerciales. L'*Histoire du Havre*, par M. l'ingénieur Frissart, l'ouvrage de M. le baron Charles Dupin, intitulé *Voyages dans la Grande-Bretagne*, et le *Voyage en Angleterre* de M. l'ingénieur Frissart, donnent des détails intéressants sur les principaux bassins ou docks du Havre, de Londres et d'autres ports anglais.

Les ressources disponibles et les besoins nouveaux de chaque localité ont déterminé presque partout et progressivement, les emplacements, dispositions, formes et dimensions superficielles des bassins de flot et darses. Ainsi, comme on l'a déjà dit pour les ports d'échouage, si les bassins à flot ou darses ne doivent servir qu'au stationnement momentané et pendant les relâches d'un grand nombre de navires réfugiés par le mauvais temps, il faut rechercher de préférence les emplacements les plus près du chenal d'entrée, et les formes qui procurent la plus *grande surface d'eau* et le plus *grand nombre de lignes de navires*. Quand ces enceintes d'eau sont spécialement affectées aux armements et désarmements, aux chargements et déchargements de navires pour la localité, c'est au contraire au voisinage des magasins du commerce, à de grands *développements de quais*, au moindre nombre de lignes *nécessaires* de navires qu'il conviendra de s'attacher.

Enfin une distinction importante est encore à établir entre les ports auxquels les navires peuvent accéder à toute hauteur de marée, et ceux

où les bâtiments sont forcés d'attendre soit la mi-marée, soit la marée haute ordinaire, soit même les marées de vives-eaux. Ainsi que M. l'ingénieur Frissart le fait observer dans le mémoire intitulé *Voyage en Angleterre*; lorsque les jours de hautes mers de vives-eaux coïncident avec des vents devenus favorables et qui ont été long-temps contraires, les navires arrivent par flottes et exigent beaucoup de place. M. Frissart cite à ce sujet le Havre, où l'on a vu entrer dans *une seule marée* jusqu'à vingt navires, et souvent quinze.

Les bassins-docks en Angleterre sont subdivisés en plusieurs catégories; la première est celle des docks destinés aux marchandises en exportation, la seconde celle des docks pour les marchandises en importation. Cette deuxième catégorie se subdivise elle-même en docks pour les marchandises admises à la circulation, et en docks pour les marchandises prohibées qui ne sont admises qu'en *transit*.

La disposition la plus convenable pour un groupe de docks serait qu'ils eussent, avec des communications facultatives de l'un à l'autre, des entrées séparées et directes, soit dans une espèce d'avant-bassin commun, soit dans le port d'échouage et vers l'extérieur. Les docks des Indes orientales et occidentales, ceux de Londres et de Sainte-Catherine à Londres, la plupart des docks de Liverpool présentent cet avantage. A moins de circonstances locales qui s'y opposent, il faut au moins qu'il y ait une entrée et une sortie placées aux deux extrémités du groupe des docks qui se commandent.

Lorsqu'on n'est contrarié par aucunes sujétions, l'entrée principale des avant-bassins, bassins, docks ou darses, est placée dans l'axe de la passe d'entrée du port, à moins qu'il ne résultât de cette position l'impossibilité dans quelques circonstances pour un navire d'entrer dans le bassin pendant la marée même *où il aurait franchi la passe*.

Des directions rectilignes, ou d'une courbure peu sensible pour les rives des bassins, une surface allongée le plus possible en parallélogramme, ou toute autre forme donnant à surface égale de zône le plus de développement de quais accostables, sont les meilleures dispositions à prendre pour les bassins de flot et docks.

Les quais des bassins à flot ou docks sont munis d'ailleurs d'arganaux, de bornes, de réverbères d'éclairage, comme ceux des avant-ports et ports d'échouage. L'espacement moyen dépend de la grandeur et du tonnage des navires admis.

La largeur des bassins de flot ou docks, à moins de sujétions locales, devrait être fixée pour deux lignes de navires sur chaque rive avec une passe au milieu. Cependant, dans la plupart des docks anglais, les navires sont placés sur trois lignes de chaque côté, et laissent au centre, entre les deux groupes de lignes, l'étendue nécessaire pour les manœuvres; alors 80 à 100 mèt. de largeur suffisent pour les navires de grandeur ordinaire de 500 à 600 tonneaux. En se restreignant à deux lignes, la largeur pourrait être elle-même réduite à 60 ou 80 mèt. pour les navires de même tonnage.

A Calais le bassin de flot projeté aura 75 mètres de largeur. Au Havre les bassins de flot pour les plus grands navires du commerce ont de 80 à 100 mètres de large. Au port militaire de Cherbourg le nouveau bassin de flot a 230 mètres de large sur 270 mètres de long. Au nouveau bassin de Saint-Malo et de Saint-Servan, où il n'y aura des quais que d'un côté, la largeur du sillon de stationnement et de passage des navires le long des quais a été fixée à 150 mètres sur environ 700 mètres de longueur, et réduite à 80 mètres sur tout le reste du développement.

Au bassin de flot projeté pour le port de commerce de Lorient, qui n'aura des quais que d'un côté, la largeur a été fixée à 20 mètres, pour que des navires puissent être à côté l'un de l'autre, l'un en stationnement, l'autre en marche. Enfin de nouveaux docks à Marseille ont été projetés sur 50 mètres de largeur pour des bâtiments de 400 à 500 tonneaux.

Un tableau final indiquera les dimensions, surfaces d'eau, développements de quais et autres détails relatifs à un grand nombre de bassins de flot et docks existants.

Modes de communication des bassins de flot et docks avec les avant-ports et ports d'échouage.

1er *mode*. Passage sans sassements.

Le mode de communication le plus simple et le plus habituel entre les bassins de flot ou les docks (*wet-docks*) et les avant-ports et ports d'échouage, est celui d'une écluse simple *sans sassements;* c'est-à dire que l'on soutient à basse mer par des fermetures *amovibles dites d'Ebe*, les eaux entrées à marée haute; et que le passage s'effectue en établissant l'équilibre entre les eaux à l'intérieur du bassin ou dock, et les eaux de la marée à l'extérieur.

Le cas le plus ordinaire est celui où cet équilibre a lieu *à mer étale*

haute. Si la marée haute du lendemain est plus forte que celle de la veille, elle repousse elle-même les fermetures d'èbe qui avaient retenu à basse mer dans les bassins ou docks, les eaux entrées à haute mer de la veille. Si les deux marées ont atteint le même niveau, le déplacement des fermetures et l'ouverture du passage par l'écluse s'opèrent facilement à mains d'hommes. Enfin si la marée du lendemain est moins forte que celle de la veille, on est forcé, ou d'ouvrir avec des cabestans ou autres appareils les fermetures d'èbe, malgré l'excédant de charge qu'elles supportent vers l'intérieur du bassin ou dock; ou de faire préalablement écouler la tranche d'eau supérieure qui s'y trouve en excédant.

Ce dernier expédient est évidemment applicable aussi au cas où l'on voudrait effectuer le passage à une époque de la marée diurne autre que l'étale, par exemple entre la mi-marée montante et la mi-marée descendante en vive eau, et même en morte eau.

Mais alors il faut que les bâtiments en stationnement simultané dans le bassin ou le dock ne risquent pas d'échouer par l'écoulement de la tranche d'eau intérieure en excédant du niveau extérieur de la marée. Cette condition met quelquefois un grand nombre de petits bâtiments d'un médiocre tonnage chargés, et de grands bâtiments léges dans la dépendance d'un petit nombre de navires à grand tirant d'eau; et leur rend ainsi impossible la sortie du bassin ou du port pendant plusieurs jours, quand même les vents seraient favorables et que leur mission l'exigerait.

En Angleterre et dans les ports tels que ceux de Londres, Liverpool, Bristol, où l'affluence des navires de toute grandeur et la diversité de leurs destinations rendaient cette dépendance très-onéreuse au commerce; on a établi quelques bassins ou docks dits de *mi-marée* (half-tide docks). La communication s'établit entre le dehors et l'intérieur dès la mi-marée montante et subsiste jusqu'à la mi-marée descendante, en morte eau comme en vive eau. Le niveau de l'eau y est d'ailleurs à volonté retenu à une époque quelconque de la marée baissante, mais jamais au-dessous du plan moyen à peu près invariable des marées. Bassins ou docks dits de mi-marée (half tide docks)

Bientôt les besoins progressifs du commerce, la rapidité de plus en plus grande des relations maritimes, la *périodicité des époques de départ et d'arrivée,* ont réclamé davantage. On a voulu qu'à une époque quelconque de la marée, *quelle que fût la différence de niveau des eaux* à

l'intérieur et à l'extérieur, et *sans réduction notable dans la profondeur d'eau intérieure du bassin ou dock*, un navire pût franchir l'écluse. De là l'application aux écluses de mer d'un deuxième mode, celui des sassements, emprunté à la navigation intérieure.

2° *mode*. Avec sassements.

Dans ce mode, un sas ou un bief éclusé avec fermetures d'èbe à l'amont et à l'aval, rachète la différence de niveau. Le sas ou bief se remplit, soit par l'écoulement d'une certaine quantité d'eau du bassin ou dock, soit par un affluent quelconque d'eau ; et les moyens indiqués dans la trentième leçon pour économiser l'eau des éclusées seront ici au besoin susceptibles d'application. Au port de Bristol, un canal *alimentaire* (feeder) va chercher l'eau des sassements à l'amont de la rivière d'Avon, dont l'ancien lit a été transformé en bassin de flot dans la traversée de la ville.

Aux docks de Sainte-Catherine à Londres, des machines à feu de la force ensemble de cent chevaux, restituent l'eau écoulée des docks par les éclusées en morte eau. Dans d'autres docks, de vastes réservoirs se remplissent à haute mer dans les fortes vives eaux, et fournissent dans les mortes eaux les mêmes éclusées de sassements.

Les docks anglais de quelques ports ont été échelonnés de manière à ce que les docks intermédiaires servissent de *biefs éclusés* aux docks extrêmes, et qu'un grand nombre de navires pussent passer à la fois.

Le système des sassements, ici comme dans la navigation intérieure, pourra au reste faire monter les navires par une série de sas ou biefs accolés jusqu'à des bassins ou docks situés à une hauteur quelconque *au-dessus des plus hautes mers d'équinoxe*, tels que des étangs naturels et artificiels, et des réservoirs alimentés par des cours d'eau ou même par l'élévation artificielle des eaux de la mer. Il n'y aura d'autre limite au relèvement du fond des bassins et docks, que la dépense de ces ouvrages etagés, et celle de l'alimentation des eaux par sassements. Quelques ports de la Méditerranée pourraient donner lieu à des applications de cette disposition.

La manœuvre pour le passage des navires dans les écluses à sas ou à bief est fort simple. A la marée montante, les portes vers le large restent ouvertes; les bâtiments entrent avec le courant de flot, et suivant les circonstances, passent immédiatement par sassements ou attendent que la différence de niveau des eaux intérieures et extérieures

soit arrivée à *son minimum*. Au moment du passage, on ferme le sas vers le large, et on l'ouvre vers l'intérieur dès que l'eau de remplissage y est montée au même niveau que celle du bassin. Les bâtiments sortants remplacent les bâtiments entrants; on fait écouler l'eau surabondante et l'on rouvre la communication avec le dehors.

Le premier mode est évidemment applicable; à ceux des ports de deuxième ordre où il y a déjà une grande profondeur d'eau même en morte eau; dans lesquels les *dénivellations des marées* sont faibles relativement *aux tirants d'eau des bâtiments habituellement stationnants*; enfin lorsque ces tirants d'eau diffèrent peu entre eux. Avantages et inconvénients respectifs des deux modes.

Mais dans les localités où les eaux de la mer sont très-chargées de troubles, ce mode expose les bassins et docks à des envasements rapides. L'enlèvement des dépôts occasionne non-seulement une dépense annuelle considérable, mais aussi des chômages qu'il faut éviter bien plus soigneusement encore dans la navigation maritime, qu'on n'évite les chômages analogues des canaux dans la navigation intérieure.

Le deuxième mode convient aux ports importants où les circonstances contraires à la sortie sont fréquentes, et où il serait essentiel de profiter immédiatement des chances favorables; et plus particulièrement encore à ceux de ces ports dans lesquels les dénivellations des marées sont considérables et fournissent dans les hautes mers de vives eaux des ressources pour les sassements à morte eau.

Mais ce deuxième mode présente, à côté de l'avantage de pouvoir faire entrer et sortir un bâtiment dès qu'il y a une profondeur suffisante sur le radier de l'écluse d'aval; à côté de l'autre avantage de pouvoir être à volonté remplacé par le premier mode, l'inconvénient d'une bien plus grande dépense de construction et d'entretien.

La longueur d'une écluse simple dépend uniquement en effet du système de fermeture adopté ou du genre de ponts mobiles par lesquels la communication entre les deux rives est établie. L'imperméabilité n'est indispensable qu'en dedans du busc ou heurtoir des fermetures qui soutiennent l'eau intérieure.

Une écluse à sas exige une seconde paire de portes d'Ebe et un intervalle entre les deux jeux de portes, égal à la longueur du plus grand navire qui puisse être admis dans le bassin; puisque des bâtiments allégés peuvent vouloir profiter pour leur sortie immédiate, des facilités que donnent les sassements.

Toute la longueur du sas jusqu'au radier d'aval doit être de plus imperméable à l'eau sous la charge maximum lors des sassements.

Enfin, pour tirer de cette opération tout le parti possible, et ne pas trop retarder par le temps qu'elle exige, le passage de plusieurs navires se présentant simultanément pour l'entrée ou la sortie, on est conduit à donner, comme au sas éclusé de Saint-Malo, des dimensions de largeur telles que plusieurs navires puissent y être reçus en même temps, et que le sas devienne ainsi un véritable bief ou dock.

Les sujétions locales, les besoins du commerce détermineront le choix à faire. Mais dans l'appréciation de ces besoins, il faut tenir compte de l'avenir, pour n'avoir point à refaire plus tard les ouvrages sur une nouvelle échelle plus grande. Ainsi, tel port qui naturellement, ou par des travaux d'art, pourrait admettre à certaines époques de la marée diurne et en morte eau des bâtiments de 600 à 800 tonneaux, n'en reçoit aujourd'hui que du port de 300 à 400. Les bassins de flot ou docks y doivent donc être disposés non sur le tonnage actuel, mais sur le tonnage probable dans l'avenir.

Les points principaux à fixer dans la construction d'un bassin ou dock *avec écluse simple*, sont :

La cote du radier de l'écluse, celle du fond du bassin, et la largeur de l'écluse.

Profondeur du radier des écluses simples.

La limite de profondeur du radier d'une écluse est celle du sol du port d'échouage; et même dans les ports sujets aux attérissements, on se tient en deçà de toute la hauteur des dépôts entre les époques des draguages périodiques.

Mais comme les difficultés de construction, d'entretien et de réparations d'une écluse croissent dans une progression très-rapide avec l'approfondissement du radier, on l'a quelquefois relevé beaucoup plus haut que le sol du port d'échouage, surtout dans les ports où les dénivellations des marées sont très-considérables de la morte eau à la vive eau.

Ainsi on s'est astreint :

1° Tantôt à ce que des bâtiments chargés d'un tonnage déterminé puissent franchir l'écluse à mi-marée ou à toute autre époque de la marée diurne;

2° Tantôt à ce que le passage ne leur soit praticable qu'à toutes les hautes mers et pour tous les jours de marée où ils pourraient entrer dans le port d'échouage et en sortir;

3° Tantôt enfin de manière que les passages n'aient lieu que pendant un

certain nombre de jours avant et après le jour lunaire des vives eaux de chaque mois.

Dans toutes les combinaisons, il faut d'ailleurs forcer le chiffre du tirant d'eau du maximum de dépression des vagues alternatives dans les gros temps.

Dans les grands ports de commerce où il y a plusieurs bassins ou docks et où l'affluence des navires de même tonnage et dans les mêmes conditions de navigation se prête à la spécialité, les seuils des radiers des écluses sont à des profondeurs différentes appropriées à chaque catégorie; et les écluses dont le radier est le plus élevé appartiennent aux bassins ou docks les plus éloignés du port d'échouage. Ainsi les expéditions et arrivages de la Baltique comportent, il est vrai, des bâtiments d'un très-grand tirant d'eau; mais à cause des glaces, ces bâtiments ne peuvent partir qu'au printemps et doivent être de retour avant l'automne. Les marées d'équinoxe donnent la possibilité de leur faire franchir des écluses à radiers élevés qui en temps ordinaire ne seraient praticables que pour des navires moins considérables.

Quelques docks en Angleterre ont deux sas dont les radiers sont à des niveaux différents, coordonnés avec les variations du tonnage des navires, et avec la condition de leur passage plus ou moins prompt.

Cette combinaison économise l'eau des sassemens et le temps du trajet; mais les deux sas emploieront plus d'espace et coûteront souvent plus qu'un seul sas d'une dimension assez grande pour admettre simultanément autant de bâtiments que les deux sas distincts.

Le tableau final relate les profondeurs d'eau des radiers et des écluses aux mortes eaux et aux vives eaux de divers bassins docks français et étrangers.

Habituellement le fond des bassins est de 30 à 40 centimèt. plus bas que le radier ou heurtoir des écluses, ou s'élève par une légère pente pour assurer l'écoulement complet des eaux en cas de vidange.

Cote de profondeur du fond des bassins ou docks

Mais dans les ports où les marées ont de fortes dénivellations et dans lesquels les bâtiments d'un grand tirant d'eau peuvent être assujettis, comme au port militaire de Cherbourg, à ne passer qu'à certaines heures de la marée diurne, ou seulement aux vives eaux de chaque mois, on a établi le fond des bassins plus bas que le radier de l'écluse de toute la différence entre les dénivellations correspondantes des marées.

Ainsi au port militaire de Cherbourg, les vaisseaux de premier rang,

tout armés, peuvent traverser l'écluse d'entrée du bassin de flot aux mêmes jours et heures où ils peuvent entrer dans l'avant-port; et le radier de l'écluse est à 5 mètres environ au-dessus du fond de l'une et de l'autre enceinte d'eau, de manière qu'aux plus fortes basses mers, les portes du bassin étant même ouvertes, les bâtiments flottent encore.

Dans les ports sujets aux alluvions, cette disposition en hâte le dépôt dans les bassins et en rend l'enlèvement bien plus difficile. Elle complique aussi dans beaucoup de cas la construction de l'écluse et celle des quais du pourtour du bassin ou dock.

Il est évident du reste que la superficie d'un bassin ou dock peut, suivant les exigences de la marine militaire ou marchande, être distribué en zônes, dont le sol soit à différents niveaux, comme au nouveau bassin de Saint-Malo, en ayant soin de placer les plus profondes dans le voisinage de l'écluse.

Largeur des écluses

La largeur des écluses dépend de celles des bâtiments les plus considérables qui auront à les franchir avec la profondeur d'eau que présentera le radier de l'écluse.

Avant l'application des machines à vapeur à la navigation, les tonnages *de charge* et les largeurs du maitre-bau en dehors des bordages suivaient une certaine loi, assez bien représentée par une parabole dont les tonnages auraient été les abscisses et les largeurs du maitre-bau les ordonnées. On peut voir dans les tableaux de l'appendice n° 3 du tome II du Programme, qu'en donnant 20 à 30 centimètres de plus sur chaque rive, les largeurs des écluses auraient pu être établies comme suit :

8 mètres pour le passage de navires de		200 tonneaux et au-dessous.
9	—	250 *id.*
10	—	350 *id.*
11	—	500 *id.*
12	—	700 *id.* et corvettes de 32 de la marine militaire.
13	—	900 *id.* et frégates de 3e rang de 46 canons.
14	—	1200 *id.*
15	—	1350 *id.* et frégates de 1er rang nouveau modèle.
15,50	—	Pour frégates de 1er rang ou vaisseaux de 82 canons (ancien modèle).
16,70	—	Pour vaisseaux de 3e rang de 90 canons.
17,30	—	Pour vaisseaux de 2e rang de 90 canons.
17,70	—	Pour vaisseaux de 1er rang.

Les bateaux à vapeur, avec leurs roues motrices en saillie sur les flancs des bâtiments, ont créé de nombreuses sujétions. Les plus grands de ces bateaux, de la force de 220 chevaux, qui ne correspondaient pour leur tirant d'eau et charge qu'à des bâtiments de 250 tonneaux, étaient assimilables pour leur largeur maximum à des vaisseaux de troisième rang. Mais aujourd'hui que ces bateaux sont employés comme paquebots de *long cours* entre l'Europe et l'Amérique; que la force de leurs appareils s'est élevée à plus de 500 chevaux; leur largeur en dehors des saillies des roues est portée jusqu'à 20^{m},20; et récemment la largeur de nouvelles écluses de bassins destinés à recevoir ce genre de bâtiments a été fixée à 21^{m},60. A la vérité les roues pourraient être démontées pour le passage des écluses; mais la saillie des arbres n'en resterait pas moins; il y aurait donc à démonter aussi ces dernières, ce qui présenterait de telles difficultés qu'on préférerait probablement laisser les bateaux à vapeur dans les ports d'échouage.

En Angleterre, on paraît convaincu; que l'on est arrivé à la limite maximum des machines et des roues; et que les essais multipliés qu'on fait aujourd'hui pour diminuer la dépense du combustible et l'encombrement à bord des bateaux à vapeur, dispenseront d'augmenter ultérieurement les écluses.

Au reste, M. l'Ingénieur Frissard vient de renouveler au Havre, pour l'écluse de l'ancien bassin du Roi, le moyen (déjà représenté figures 441 des planches) qui avait été adapté à l'écluse de Flessingue pour l'admission des bâtiments de guerre, celui de n'élargir les écluses que dans la partie supérieure correspondante aux tambours des roues des bateaux à vapeur. Figures 441 des planches

Le niveau du radier des écluses à sas, du côté de l'avant-port, est réglé comme celui des écluses simples. Radiers des écluses à sas.

Le radier des écluses à sas, du *côté du bassin ou du dock*, peut être avec ou sans mur de chute. Un radier sans mur de chute se prête mieux évidemment à toutes les éventualités et à toutes les variétés de tonnage du commerce maritime, et réduit le nombre des sassements nécessaires; mais il soumet les fermetures d'èbe à une charge d'eau plus forte que s'il y avait eu un mur de chute. Toutefois, on ne construit guère de ces murs que dans les localités où les dénivellations des marées sont très-fortes, et fournissent une tranche *d'eau superflue pour les besoins de la navigation*; la hauteur de cette tranche est alors

celle du mur de chute. Ce dernier est du reste inévitable lorsqu'il s'agit de communiquer avec des enceintes d'eau *alimentées indépendamment des marées.*

Largeur et longueur des écluses.

La largeur des sas d'écluses dépend du nombre de bâtiments qu'on veut faire passer simultanément par le même sassement; leur longueur dépend de celle du plus grand bâtiment qui aura à franchir l'écluse; cette longueur devra être mesurée sur le bâtiment au niveau des terre-pleins des bajoyers. Les tableaux déjà cités de l'appendice n° 5 du tome II du Programme donneront à cet égard les indications nécessaires.

Il est avantageux de prendre pour les deux dimensions du sas, des cotes multiples des longueurs et largeurs des navires de fort tonnage, afin que le plus grand nombre d'entre eux puissent franchir le passage avec le même sassement.

Figures 551 des planches.

Dans le plan du port de Saint-Malo (voir les figures 551 des planches) est indiqué le nouveau sas éclusé de grande dimension qui y est projeté.

Doubles fermetures d'èbe et fermetures de flot des écluses des bassins.

Comme des accidents dans la manœuvre des fermetures des écluses de bassins et de docks occasionneraient une baisse inattendue dans les eaux des retenues, et exposeraient à des avaries graves certains bâtiments *fins* en stationnement, on a quelquefois exécuté deux systèmes de fermetures d'èbe dans les écluses.

Enfin dans les ports où le gros temps se fait sentir jusqu'à l'entrée des écluses et pourrait, en ouvrant violemment les fermetures d'èbe, faire irruption dans l'intérieur des bassins et docks, on a pris l'un des deux partis suivants : 1° celui de disposer ces fermetures de manière qu'elles résistent dans le sens inverse; 2° celui d'établir un jeu spécial de fermetures de flot. L'une et l'autre disposition auront aussi l'avantage de rendre possible la mise à sec des bassins et écluses, soit pour leur curage et leurs réparations, soit pour la sûreté et la réparation des bâtiments stationnés, et de faire ainsi servir les bassins de formes *sèches* de radoub (engraving docks). Ces deux dispositions avaient

Figures 299, 430 et 440 des planches.

été faites conjointement pour l'écluse du port militaire de Cherbourg (figures 299, 430 et 440 des planches).

Les doubles jeux de fermetures en sens inverse sont convenables aussi pour les écluses de communication de deux bassins adjacents, afin qu'ils ne soient pas dans une dépendance mutuelle, et que l'on puisse conserver l'un d'eux en service pendant que l'autre serait à sec.

Feu M. Lamblardie père avait traité avec beaucoup de soins et de

sagacité, dans un mémoire encore manuscrit, la question des ponts mobiles, particulièrement pour le passage des écluses de bassins de flot.

Ponts mobiles sur les écluses des bassins ou docks.

Il avait fait remarquer, relativement aux ponts-levis; que pour une ouverture de 13m,50, l'extrémité des flèches levées eût été à 13 mètres au-dessus du sol; qu'elles eussent été exposées à rompre dans les tempêtes ou à renverser leurs pilastres; et que d'ailleurs le passage des navires sous vergues les aurait fréquemment endommagés.

Figures 294 à 296 des planches.

Les ponts roulants occupent une grande place aux abords des bajoyers d'écluses et sont peu solides.

Figures 303 des planches.

Les ponts tournants, quoique généralement adoptés (figures 298 à 307 des planches), ont l'inconvénient d'exiger une grande longueur de bajoyers pour retenir les volées lorsque le pont est ouvert; il faut de plus que dans cette position ils fassent retraite sur les bajoyers pour ne pas être accrochés par les pattes d'ancre et par les haubans; enfin leur longueur augmente dans une plus grande proportion que l'ouverture des écluses. Ces ponts bien construits, durent du reste une trentaine d'années.

Figures 298 à 302, 306 et 307 des planches.

Ces considérations avaient déterminé feu M. Lamblardie père à proposer les ponts à bascule, qui ont été représentés figures 297 des planches, et qui ont été exécutés au Havre et à Hull en Angleterre.

Figures 297 des planches

Dans quelques docks anglais, où le fond était vaseux, le tracé du plan des quais de soutènement a été curviligne, en arc de cercle d'un grand rayon de courbure, afin d'opposer plus de résistance à la poussée des terres mouillées en arrière. Sans doute la poussée de l'eau contrebalance celle des terres; mais les bassins et docks sont quelquefois mis à sec; et il y a à tenir compte d'ailleurs des grands amas de *marchandises* qui chargent les terre-pleins des quais, et *de la traction* des navires amarrés.

Tracé en plan et profil des quais des bassins de flot et dock

Des échelles de sauvetage, des escaliers et des rampes glissoires pour les bois ou des machines de débarquement et embarquement, seront d'une grande utilité dans les bassins de flot comme dans les ports d'échouage.

Les parois montantes ont été aussi, dans les bassins de flot comme dans les ports d'échouage, dressées quelquefois sous des formes curvilignes, dans le but également de mieux résister aux poussées.

Ces parois ont du reste moins besoin que celles des ports d'échouage de gardes en bois.

Le couronnement des quais doit être à un niveau tel qu'il ne puisse jamais être dépassé par les plus hautes mers *même agitées*; et qu'aux moindres hautes mers de morte eau il n'y ait pas une hauteur gênante pour les communications entre le couronnement et le pont supérieur des navires.

La largeur des terre-pleins riverains devant, comme celle des terre-pleins des ports d'échouage, fournir une voie longitudinale de communication, ne saurait guère être moindre de 20 mètres quand les marchandises ne sont pas reçues dans des hangars de pesage. On dira plus bas les dispositions habituelles prises pour les docks entourés d'édifices.

Les position et forme des boucles ou barres d'amarrage, des canons d'amarrage, des réverbères, sont d'ailleurs dans les bassins ce qu'elles sont dans les ports d'échouage.

Figures 631 des planches.

Les figures 631 des planches représentent quelques quais de bassins de flot et de docks.

Lorsque, comme au bassin de flot du port militaire de Cherbourg, le fond est du rocher ou d'une nature telle que les ancres et grappins n'y mordraient pas, on y scelle un réseau d'arganaux avec des bouts de chaînes.

Dans des rochers très-durs on pourra se borner à des sillons creusés *en damier* sur toute l'étendue du fond.

Figures 632 des planches.

Les figures 632 des planches indiquent la disposition adoptée pour le bassin de flot de Cherbourg.

RÉSUMÉ DE LA TRENTE-SEPTIÈME LEÇON.

SUITE DES BASSINS DE FLOT, DARSES ET DOCKS. — ENLÈVEMENT DES ALLUVIONS DES PORTS ET À CHENAUX.

Fermetures et tracé des écluses.

Le système de fermeture et de construction des écluses des bassins de flot avec ou sans sassements, doit être tel, indépendamment des conditions ordinaires de solidité et de durée, que :

1° Quels que soient les niveaux respectifs des eaux en dedans et en dehors, dans le calme comme dans le gros temps, il ne puisse pas se faire une communication *subite et imprévue* entre les uns et les autres;

2° Que l'on puisse facilement et à volonté, sans priver longtemps le commerce de la jouissance des bassins ou docks, réparer l'écluse, les bassins eux-mêmes, entretenir et renouveler les fermetures amovibles.

Les fermetures d'èbe ou de flot des grandes écluses de mer peuvent être effectuées soit avec des portes verticales et tournantes analogues à celles des écluses de navigation, soit avec des *bateaux-portes*.

Les bateaux-portes sont des caisses flottantes de diverses formes en section horizontale et verticale, à une ou deux quilles, et munies de flotteurs. En remplissant ou vidant ces flotteurs, on détermine l'immersion ou l'émersion de la caisse. Cette dernière, si elle ne doit soutenir les eaux que *dans un seul sens*, vient s'appliquer verticalement ou suivant un talus plus ou moins incliné, contre un heurtoir ménagé dans le radier et contre des retraites de 30 centimètres de profondeur, réservées dans les bajoyers. L'élargissement s'étend au moins alors depuis l'emplacement du bateau-porte jusqu'à la tête de l'écluse qui est la plus voisine. Le bateau-porte se présente, entre et sort par cette tête, et vient s'appliquer contre le heurtoir et les retraites. Bateaux-portes.

Si le bateau-porte doit soutenir l'eau dans *deux sens opposés* ; on ménage dans le radier et dans les bajoyers des enclaves ou refouillements d'environ 30 centimètres de profondeur, et l'on a soin aussi de donner aux bajoyers et aux enclaves montantes un talus considérable. Le bateau-porte qui aura alors en travers de l'écluse une section trapézoïdale dont la grande base sera en haut, descendra facilement par l'immersion et remontera facilement par l'émersion.

Des paillets, faits en *frise* ou en vieux cordages, suivés et lardés de petits clous garnissent le périmètre du bateau-porte.

Les bateaux-portes peuvent servir en même temps de ponts mobiles; mais dans ce cas, ils doivent être à deux quilles et avoir à peu près la forme d'un chaland ponté analogue à celui qui a été déjà représenté figures 305 des planches.

Les formes et dispositions des bateaux-portes et de leurs flotteurs, ont été l'objet d'études intéressantes pour MM. les officiers du génie maritime, sous le triple rapport de la stabilité, de la facilité de manœuvre et de l'économie de construction. Figures 305 des planches.

Le bateau-porte le plus simple, pour les circonstances où l'eau ne *doit être soutenue que dans un seul sens*, et où le bateau-porte ne doit pas servir de pont mobile, est celui de feu M. Pestel, directeur des constructions navales. Il a été employé la première fois en 1822, à l'entrée de la forme sèche du port militaire de Brest (rive de Brest); puis en 1833, à l'entrée de la nouvelle forme sèche du port militaire de Lorient.

Figures 633 des planches

Les figures 633 des planches en donnent les détails dans les deux cas d'un radier *plan et courbe*, ainsi que ceux d'un bateau-porte d'une forme particulière établi à Constantinople, par un ingénieur suédois.

Ces bateaux-portes sont dénommés *portes flottantes*.

Figures 634 des planches

Pour les bateaux-portes servant de ponts mobiles, on se borne à indiquer dans les figures 634 des planches : 1° celui qui avait été projeté en 1827 par M. Daviel, officier du génie maritime, pour l'écluse de communication entre l'avant-port et le bassin de flot du nouvel arsenal militaire de Cherbourg; 2° celui qui avait été projeté en 1829 par M. Hubert, directeur des constructions navales; 3° celui du port d'Helvoet-Sluys en Hollande.

Les bateaux-portes présentent les avantages suivants sur les portes tournantes :

Leur solidité est éprouvée; ils épargnent une longueur considérable d'écluses, surtout lorsqu'ils servent de ponts mobiles; on peut les faire fonctionner à volonté comme fermetures d'ebe et de flot. Leur quille pouvant être curviligne, le radier de l'écluse peut avoir aussi cette forme et contre-tenir efficacement les poussées sur le bateau-porte, et celles sur les bajoyers des écluses dans les terrains vaseux. Enfin les bateaux-portes n'exercent point de traction transversale ou diagonale sur les bajoyers; et leur poussée n'agit que dans le sens de la longueur de l'écluse, où il y a toujours une résistance suffisante.

Malgré tous ces avantages, l'application permanente des bateaux-portes a été restreinte aux fermetures des *formes sèches* (engraving docks). Le motif en est; dans les difficultés de leur manœuvre, surtout lorsqu'il y a un peu de gros temps, ou quand il y a encore un courant à travers l'écluse du dedans au dehors, *et vice versâ*. D'après l'expérience, il faut plus de *deux heures* dans les circonstances les plus favorables.

Les bateaux-portes ont été employés souvent comme batardeaux, et notamment lors de la construction et de l'approfondissement de l'écluse de communication déjà citée de l'avant-port et du bassin de flot du nouvel ar-

senal militaire de Cherbourg. Il sera prudent de ménager aux deux têtes, ou entre les têtes des écluses de mer, des élargissements, des heurtoirs ou des enclaves, pour le placement temporaire des bateaux-portes en cas de réparation de l'écluse et de renouvellement des portes et ponts mobiles.

Pour les bassins ou docks qui ne recevraient habituellement que des navires de faible tonnage, et de loin en loin seulement des bâtiments d'une grande largeur au *maître-bau*, tels que bateaux à vapeur et navires de guerre, il pourrait y avoir lieu à appliquer le système mixte de fermeture d'un bateau-porte muni de portes d'écluse, imaginé et exécuté en 1805 à Medenblick en Hollande, par l'Ingénieur Gondrian. Le bateau-porte reste en place pour le passage des bâtiments de grandeur ordinaire, lequel s'effectue par l'ouverture des portes. Tout le système ne s'enlève que pour les grands bâtiments.

Système mixte de bateaux-portes et portes d'écluse

Figures 635 des planches.

Il serait possible peut-être d'atteindre le même but, en décomposant en deux chacun des ventaux principaux des fermetures busquées, et en retenant fortement par des chaînes amovibles du côté de la poussée de l'eau, ou par des étrésillonnages amovibles du côté opposé, les poteaux-tourillons intermédiaires de chaque *sous-ventail*.

On a employé en Angleterre un système analogue, représenté figures 636 des planches.

Figures 636 des planches.

Les portes à deux ventaux busqués d'Ebe ou de flot, avec ventelles pour l'évacuation des eaux, sont employées généralement pour les grands débouchés des écluses de mer comme pour les écluses des canaux de navigation.

Portes tournantes ordinaires.

Ici également, il y aura avantage à réduire la saillie du busc et à donner en plan aux ventaux une forme *ogive*, ou au moins une forme très-rapprochée de celle d'un arc de cercle passant par les chardonnets et par le sommet du busc. On a fait des portes avec ventaux en bois de $\frac{1}{10}$ de la corde pour flèche, et des ventaux en bois avec $\frac{1}{12}$ à $\frac{1}{15}$ de flèche (voir le Mémoire de M. Barlow dans l'appendice n° 3 du tome II du Programme).

Feu M. l'Ingénieur Duleau avait fait remarquer : qu'il était d'autant plus difficile de faire la courbure des ventaux continus, que la flèche du busc était plus forte; que les portes fermaient d'autant mieux, pesaient d'autant moins, étaient d'autant plus faciles à manœuvrer, que la saillie du busc était moindre. Mais par compensation, la pression d'arc-boutement des ventaux est plus considérable, et les maçonneries des chardonnets ont besoin de contre-forts plus massifs.

La composition des ventaux des portes tournantes a été faite suivant les divers systèmes ci-dessous :

1° Encadrements en bois avec bracons et liaisons métalliques, et bordé en bois.

Figures 299, 430 et 440 des planches.

Ce système est celui de toutes les anciennes portes, et des portes d'èbe et de flot exécutées en 1832 par M. l'Ingénieur en chef Leroux pour l'écluse de communication déjà citée de l'avant-port et du bassin de flot de l'arsenal militaire de Cherbourg, et retracée figures 299, 430 et 440 des planches.

Figures 637 des planches.

Figures 638 des planches.

Ce système a aussi été suivi pour les portes d'écluses des bassins de flot des ports de commerce de Dunkerque, de Dieppe, du Havre et de Cherbourg, et pour celles des formes sèches *intérieures* du port militaire de Brest, représentées figures 637 des planches. On le retrouve en Angleterre, aux docks dits des Indes-Orientales, de Sainte-Catherine et de Londres dans la Tamise, et à ceux des ports de Hull et Liverpool. Les figures 638 des planches en retracent quelques exemples. Ce genre de construction peut durer de dix-huit à vingt ans moyennement

Figures 639 des planches.

2° Celui d'encadrements en fonte ou en fer forgé avec liaisons en fer forgé et bordé en bois, dont il va être fait usage au port de commerce de Cherbourg, d'après un projet rédigé par M. l'Ingénieur Virla, et représenté dans les figures 639.

Malgré les excellentes dispositions prises par cet habile Ingénieur, malgré la bonne qualité des fontes livrées et éprouvées avant l'emploi sous une charge uniformément répartie de 30,000 kilogrammes sur chaque entretoise posée sur deux appuis ; il est à craindre que ce genre de portes éprouve des avaries, soit dans les gros temps et vers la marée étale, quand le courant de flot ouvrira subitement les portes avec force ; soit lorsqu'il faudra fermer les portes de jusant après l'étale; ou encore dans le cas de quelques bâtiments partis en *dérive* du bassin de flot ou de l'avant-port. Il arrive souvent aussi que des navires franchissant les écluses se présentent mal et heurtent les ventaux rabattus dans leurs enclaves; l'élasticité du bois, bien plus grande que celle de la fonte, rend ces accidents moins graves ; d'ailleurs leur réparation est bien plus facile dans les ventaux en bois que dans ceux en métal.

3° Celui de cadres métalliques avec bordé métallique dont on ne peut citer encore aucun exemple dans les écluses de mer de France et d'Angleterre.

L'énorme poids des ventaux (il s'élève jusqu'à 40 tonneaux pour un jeu de portes de docks du commerce de 13 à 14 mètres de débouché) appelle tous les moyens praticables d'élégissement. Aussi, malgré la moindre durée de l'orme et du sapin du Nord, on le prescrit en Angleterre pour toute la charpente des portes, ou au moins pour le bordé qu'on y place du reste verticalement.

On avait eu recours pour les portes de l'écluse, déjà plusieurs fois citée du nouvel arsenal de Cherbourg, à un moyen qui semblait devoir être très-efficace, celui de border en dedans et en dehors, et de transformer ainsi les vides des entre-toises en caisses imperméables ou flotteurs. Mais les résultats n'y ont pas répondu. L'affaissement de la charpente des ventaux, les flexions variables qu'elle éprouve sous les différentes charges, les alternatives de sécheresse et d'humidité, ont rendu ces caisses perméables à l'eau; et les portes, au lieu d'être plus légères, ont été rendues ainsi plus pesantes. D'ailleurs on avait oublié de doubler le bordé en cuivre, et les vers marins l'avaient troué dès les premières années. Figures 209. 430 et 440 des planches.

Dans les portes métalliques on pourrait mieux réussir en formant les entre-toises et les poteaux en tuyaux creux, à section circulaire ou elliptique, comme ceux du pont du Carrousel.

C'est ordinairement dans le tiers inférieur des ventaux que le gauchissement a lieu; aussi dans cette zône on fait les entre-toises presque jointives. Les fortes dimensions de ces pièces permettent rarement de les faire d'un seul morceau; on les compose de pièces naturelles ou artificielles courbées vers l'extérieur, en les liant à l'intérieur par des pièces droites formant *tirants* ou *entraits*. L'intervalle est rempli par des blocs de bois de *support*, rendus solidaires avec les pièces riveraines par les cylindres incrustés en échiquier, indiqués figures 16 des planches. Figures 16 des planches.

On pourra d'ailleurs consolider les ventaux; soit du côté de la poussée, par des tirants en fer ou chaînes amovibles, scellées à leur autre extrémité dans les bajoyers; soit du côté opposé à la poussée par des valets analogues à ceux qui sont représentés figures 430 des planches. Ces valets ont été aussi établis aux nouvelles portes du bassin de flot de la marine à Dunkerque, non pour les consolider, mais pour les faire fonctionner comme portes de flot. Figures 430 des planches.

On a déjà dit, page 119 tome II, le moyen qu'on avait employé à Flessingue pour l'élargissement d'une écluse dans sa partie supérieure,

Figures 441 des planches.

et les figures 441 des planches représentent les deux étages de ventaux.

Au port du Havre, M. l'ingénieur Frissart, à l'occasion d'un élargissement analogue de l'ancienne écluse du bassin du Roi, a préféré construire les ventaux découpés et d'un seul morceau, en plaçant le poteau-tourillon dans le bajoyer élargi, et en faisant reposer les entre-toises inférieures sur la retraite de l'*ancien bajoyer*; le succès a justifié cette disposition.

Lorsque l'on veut avoir à la fois des portes d'ébe et de flot dans la même écluse, il est évidemment économique de leur donner exactement les mêmes dimensions, afin qu'on puisse en cas de besoin faire changer leur destination (voir figures 451 des planches).

Figures 451 des planches

Au port de Hull en Angleterre, et aux docks dits du Commerce à Londres, on a évité l'emploi de portes de flot et de batardeaux en cas de mise à sec des docks d'écluses; en ménageant dans l'écluse un busc heurtoir, des enclaves, des colliers entièrement semblables à ceux des portes d'ébe :

Figures 640 des planches.

1° A la tête, vers le large, et en sens contraire du busc et des enclaves des fermetures d'ébe;

2° A la tête, vers le dock, dans le même sens que ceux des fermetures d'Ebe.

Les fermetures ordinaires d'ébe, soulevées par une espèce de ponton, sont enlevées de leur emplacement et reportées, suivant les cas, vers l'intérieur ou vers le large.

Au reste, indépendamment de ces dispositions, il est très-utile, ici comme dans les écluses de navigation, de réserver aux deux têtes de l'écluse et même sur différents points de la longueur des sas, des rainures de 25 à 30 centimètres de profondeur, et de 25 à 40 centimètres de largeur, pour recevoir les poutrelles de batardeaux submersibles, lesquels seront surtout nécessaires en cas de réparations *partielles* et dans des zônes *déterminées* de l'écluse.

Figures 641 des planches

On se borne à présenter dans les figures 641 des planches les écluses et docks des Indes-Orientales à Londres, l'écluse du bassin du port militaire de Cherbourg, et celle du bassin du commerce au Havre.

On fait remarquer que dans les grandes écluses de mer exécutées en Angleterre et récemment au Havre, on a disposé le radier du sas entre les paliers des portes tournantes en voûte renversée. Cette forme convient surtout aux écluses fondées en mauvais terrain. Toutefois, on pourrait par de fortes plates-bandes renversées, et à l'instar des anciennes écluses du

Havre, atteindre peut-être le même but, sans exposer les navires déviés de leur route à s'échouer, comme dans les radiers à voûte renversée.

Les crapaudines, colliers de tenue des portes, sont installés dans les écluses de mer comme dans les écluses de navigation, mais avec une augmentation de force proportionnelle.

Les figures 642 des planches donnent les détails des portes d'écluses du bassin de flot du port militaire de Cherbourg. Figures 642 des planches.

Il faut éviter soigneusement du reste de mettre en contact du cuivre et du fer particulièrement dans les parties immergées.

En Angleterre, pour soulager les maçonneries des bajoyers du poids des portes, on a rendu les colliers indépendants en les attachant à de longs tirants en fer, qui s'amarrent à un fort *ancrage*, fixé lui-même dans les terre-pleins à une grande distance des bajoyers.

La manœuvre des portes, pour l'ouverture et la fermeture, s'opère par des cabestans, treuils ou engrenages fixés sur les terre-pleins des bajoyers, combinés souvent avec l'emploi de palans ou caliornes (mouffles à un ou plusieurs rouets). Mais comme le temps manque plutôt que la force dans les ports de mer, il pourrait être utile d'employer des appareils d'une marche plus prompte ou de s'aider de contre-poids qu'on remettrait ensuite à loisir à leur position initiale. Les chaînes de traction de chaque vanteau, qui sont doubles, l'une en dedans pour l'ouverture, l'autre en dehors pour la fermeture, sont ordinairement attachées aux poteaux busqués vers le tiers inférieur de la hauteur des ventaux, ou bien entre ce tiers et la mi-hauteur; ces chaînes vont passer ensuite sous des rouleaux horizontaux scellés dans les bajoyers. Là, elle se replient, s'élèvent sur la plate-forme de l'écluse, et appuyées sur de nouveaux rouleaux, vont s'enrouler sur les treuils ou cabestans. Les fig. 423, 640, 641 des planches, représentent les dispositions suivies dans la plupart des écluses des bassins français et des docks anglais. Manœuvres des portes. Figures 423, 640 et 641 des planches.

Dans ces écluses, on a quelquefois placé, au pied des poteaux busqués, des roulettes du plus grand diamètre que possible, marchant sur des chemins métalliques scellés dans le radier. Elles avaient pour objet d'empêcher ces poteaux de baisser *du nez*, et de frotter sur le radier; mais pour peu qu'il y ait d'alluvions ou de corps étrangers, ces expédients peuvent être plus nuisibles qu'utiles. A Liverpool, ces roulettes, par un mécanisme spécial, peuvent être remontées ou abaissées. Figures 440 des planches.

L'on a vu précédemment qu'il était presque toujours nécessaire de Communications entre les eaux du dedans et du dehors des bassins.

pouvoir ouvrir une communication pour les eaux du dedans au dehors des bassins et docks. Cette communication n'a pas seulement pour objet de faire varier le niveau d'eau intérieur, mais aussi de déterminer à basses mers des chasses d'eau dans les écluses, et même dans les ports d'échouage. Le dépôt annuel de vase peut varier en effet suivant les localités, de 2^c,5 à 1 *mètre* par an. Au port de Hull en Angleterre, la quantité annuelle de vase à enlever, sur 92,736 mètres superficiels, est de 30,000 tonneaux; et elle était précédemment de la même quantité pour un seul dock de 28,224 mètres quarrés de superficie d'eau.

Figures 641 des planches. Ici, comme dans les écluses de navigation, on se sert isolément ou concurremment de ventelles dans les portes, et d'aqueducs spéciaux. On les emploie simultanément dans le bassin de la Barre au Havre, et dans les docks de Liverpool, de Bristol, de Hull, en Angleterre. Ainsi, quand on veut nettoyer un dock, on ouvre ses écluses vers le large pour que l'eau qu'il contient s'écoule à basse-mer; ensuite on ouvre les ventelles des écluses intérieures *qui débouchent dans ce dock*, et celles de tous les canaux souterrains qui sont en communication avec les autres docks restés pleins; ces divers courants d'eau dirigés à volonté par des *guideaux* sur les points les plus envasés, sont aidés dans leur action par des râteaux que meuvent des hommes ou d'autres moteurs. La vase dont l'adhérence est ainsi détruite, est enlevée par les courants d'eau et rejetée en dehors; dès qu'un dock est curé, il sert au curage d'un autre. On recommence à Liverpool chaque année cette même opération pour chaque dock, pendant 12 à 14 jours.

Les aqueducs anglais sont en fonte de fer; et leur section transversale s'ouvre en entonnoir dans le sens de la longueur de manière à n'avoir qu'environ $0^m,46\frac{1}{2}$ à $0^m,75$ au débouché des chasses, et $1^m,20$ de diamètre à la prise d'eau.

On voit aussi qu'ici, comme dans les écluses de navigation, il est utile que les ventelles aient le plus grand débouché possible, et que ce débouché soit ouvert en entier dans le minimum de temps. On donne souvent aux ventelles pour largeur, tout l'intervalle entre le poteau tourillon et le poteau busqué. En Angleterre les ventelles sont quelquefois

Figures 636 des planches multipliées sur la hauteur, et élevées au moyen de contre-poids. A Hull, chaque ventail comporte deux rangées verticales de ventelles; elles se servent mutuellement de contre-poids, parce que les unes ouvrent en montant, les autres en descendant.

Les quais, le fond même des bassins de docks, et surtout l'écluse, doivent être, sinon complétement imperméables à l'eau poussant du dedans au dehors, au moins d'une perméabilité restreinte de telle manière : qu'entre deux marées hautes en équilibre avec les niveaux des eaux dans l'intérieur des bassins, consécutives ou séparées par un certain intervalle de temps, les eaux ne puissent baisser assez pour déterminer l'échouage des navires. Cette condition pour les docks à seuils très-élevés, et avec écluses à sas, peut exiger que le fond du bassin d'eau, dans des terrains sablonneux, soit tapissé d'une couche épaisse de terre glaise et même de béton. Mode de construction des quais et des écluses.

Dans tous les cas, il convient de descendre l'assiette de fondation des soutènements beaucoup plus bas que le fond du bassin ; faute de cette précaution on a vu au vieux dock de Hull en Angleterre, mis à sec temporairement, de longues portions de soutènements en maçonnerie surplomber et même s'écrouler. Dans les docks nouveaux de la même ville, les pertes par filtrations sont restreintes par heure, dans les vives eaux, à $0^m,02$ de hauteur, et dans les mortes eaux à $0^m,15$, sur une surface de 93,736 mètres carrés.

Les premiers soutènements des quais de bassins et docks avaient été exécutés en bois ; mais leur perméabilité a forcé d'y renoncer; et aujourd'hui toutes ces parois sont exécutées en maçonnerie de mortier, ou en terre glaise parementée de feuilles métalliques dans le système déjà décrit. Toutefois l'eau étant presque toujours stagnante dans les bassins de flot, on n'a point à y craindre d'affouillements pour les fondations. Aussi la plupart des quais du Havre sont fondés sur le terrain naturel résistant, ou sur un simple grillage soit de traversines et de longrines, soit de deux plans de bordage croisés.

Au bassin de flot du port de commerce de Cherbourg, ces murs ont été fondés sur le sable.

La construction des écluses de mer, analogue du reste à celle des écluses de navigation intérieure, exige encore une plus grande attention ; d'abord pour renforcer convenablement les contre-forts des bajoyers, au droit des chardonnets des portes ; puis pour empêcher les communications de l'eau du dedans au dehors, et celles du dehors au dedans suivant que les fermetures de l'écluse doivent fonctionner d'Ebe ou de flot; enfin pour prévenir les affouillements par les courants de jusant, qui sont très-ra-

pides dans le passage des écluses, surtout lorsque les ventelles doivent servir pour les chasses.

On pourrait néanmoins se borner à revêtir en pierres de taille les encoignures, arêtes et couronnements comme dans les écluses de navigation.

Dans les écluses à sas, où le seuil des bassins ou docks peut être très-élevé relativement au radier de l'écluse, et où ce dernier est souvent au niveau des plus basses mers; la charge d'eau contre le mur de chute et sur le radier, peut s'élever à 10 et 12 mètres, à basse mer, dans les localités où les dénivellations de la marée sont très-fortes. Une épaisseur de radier de $3^m,50$ au-dessus du plan des fondations, a été donnée dans des écluses récemment exécutées, et pour des charges d'eau de 6 mètres à basse mer.

Au reste, la marche la plus sûre pour calculer les dimensions des diverses parties d'une écluse sera, de prendre pour point de départ celles analogues d'une écluse de navigation, et de les augmenter dans le rapport des charges d'eau correspondantes, rapport qui est ordinairement de 1 à 3 dans les ports à marées.

Les règles générales données pour les fondations, et celles spéciales aux ouvrages hydrauliques, s'appliquent ici.

Au dock de jonction du port de Hull, dont le terrain était alluvionnaire, le pourtour des murs présentait environ (défalcation faite des entrées d'écluses) 632 mètres de développement. Il a employé 2,411 pieux de fondation cubant $500^{st.}$, et 632 mètres courants de palplanches, cubant 346 stères. Chaque écluse a été supportée par 939 pieux cubant $269^{st.}$; par 570 mètres courants de palplanches, cubant $119^{st.}$. Le poids maximum supporté a été de 20,000 kilogr. par pieu d'environ $0^m,35$ de diamètre moyen, battu au refus de $0^m,05$ par coup d'un mouton au déclic de 650 kilogr., tombant de $7^m,20$ de hauteur.

Figures 451 des planches.

Les figures 451 représentent l'un des systèmes les plus compliqués de fondation d'écluses.

Ordre d'exécution des bassins de flot et des docks.

L'exécution des bassins à flot et docks doit commencer évidemment, quand cela est possible, par celle des écluses; puisque ces dernières, munies de leurs fermetures, servent alors de batardeaux pour le reste du travail, ou permettent au moins d'en réduire l'importance et la durée. Les écluses elles-mêmes peuvent être fondées soit à l'aide de batardeaux insubmersibles à toute marée, ou de batardeaux submersibles tantôt à mi-marée tantôt au-dessus et au-dessous de cette cote.

Quand le creusement des bassins doit précéder l'établissement des écluses, et être opéré *malgré la présence* de l'eau, on y applique les machines à draguer, lorsque le fond est facilement attaquable ; et les cloches à plongeur et la mine, si le fond est du rocher. Les ouvriers sous la cloche creusent et chargent les trous des mines, et cette charge s'effectue avec des boites en fer-blanc remplies de poudre, et surmontées de tubes ascensionnels qui débouchent au-dessus du niveau des basses mers, et transmettent la combustion. Après l'explosion produite sous l'eau, la cloche à plongeur sert à détacher les fragments. Ces moyens ont été employés en 1774 par le célèbre Thunberg aux travaux du port de Carlscrona en Suède.

Figures 714 des planches

On pourrait aussi recourir au procédé, suivi en 1811 pour l'approfondissement du port de Peterhead en Écosse, emprunté aux mêmes travaux de Carlscrona, lequel consistait dans des caisses en bois formant des espèces de batardeaux amovibles dans l'intérieur desquels on pouvait épuiser l'eau et creuser ensuite à l'aise.

Mode de construction des darses et docks dans les ports non sujets aux marées

La seule difficulté que présentent les darses et docks dans les ports sans marées, consiste dans la construction des soutènements. La grande dépense des travaux faits par des batardeaux insubmersibles, celle de bien régaler le terrain pour des maçonneries faites à l'aide de caissons, déterminent dans la plupart des cas à recourir aux fondations sur enrochements, ou plutôt à celles en béton à l'aide de caissons non foncés, qui n'entravent pas l'accostage des navires.

Édifices des docks

Figures 643 des planches.

On a déjà dit qu'il y avait de grandes différences dans la disposition des édifices des docks. Ainsi, jusqu'ici en France, les marchandises mises à terre sont abritées par des tentes, en attendant qu'elles soient pesées et contrôlées par la douane, à moins qu'elles ne soient immédiatement conduites sous la surveillance des agents de cette Administration à des entrepôts, dont Elle a aussi la surveillance et les clefs, ou dans les magasins isolés de chaque négociant.

Figures 644 des planches.

En Angleterre il est des docks qu'on a déjà cités, où il y a des hangars fixes pour le premier dépôt des marchandises importées, et pour le dernier dépôt des marchandises exportées. En arrière, à une certaine distance, sont les magasins définitifs de dépôt et de conservation qui tiennent ainsi lieu de magasins isolés appartenant aux divers négociants.

Figures 645 des planches.

Enfin, aux docks de Sainte-Catherine, les magasins sont sur les bords des quais, et leur rez-de-chaussée fait fonctions de hangar de pesage et de contrôle, tandis que les étages supérieurs servent au dépôt. C'est cette

même disposition qui avait été assignée par M. Flachat, pour les édifices des docks projetés à Marseille.

Figures 646 des planches.

M. l'Ingénieur Frissart a proposé un système mixte dans un mémoire déjà cité ; Il consiste à placer les hangars sur les bords des quais, mais en les accolant aux magasins, de manière qu'il n'y ait plus de rue de séparation intermédiaire.

Figures 647 des planches.

On croit utile de joindre à ce qui précède quelques courtes notices sur quelques bassins et docks anglais.

Port de Bristol sur l'Avon.

Notices sur quelques docks exécutés en Angleterre.

Figures 570 des planches.

Deux rivières, l'Avon et la Froom, se réunissent à Bristol, et tombent dans la mer à 15 kilomètres plus bas. On a transformé leur lit commun dans la traversée de la ville, en un long bassin de plus de 4,500 mètres de développement; et pour écouler les eaux de l'Avon, on a ouvert un nouveau lit de 3,600 mètres de long, dans des prairies situées au midi de la ville. Des écluses à barrage, établies à la tête en amont du long bassin, y retiennent l'eau à basse mer. En aval, ce long bassin dont les terre-pleins de rive ont depuis 15 à 20 mètres de largeur et ne sont bordés de quais que vers le milieu de la ville, communique par une écluse avec un dock plus profond que lui, dit de Cumberland, lequel à son tour communique avec l'ancien lit de la rivière par deux écluses adjacentes, l'une pour l'entrée, l'autre pour la sortie. Un canal ou rigole alimentaire va chercher dans l'Avon, en amont de Bristol, l'eau nécessaire au bassin ou plutôt *port de flot* pour réparer les pertes faites par sassements, et conserver les eaux plus hautes que le niveau des hautes mers de morte eau. Les travaux commencés en 1824 ont duré cinq ans. Le long bassin présente d'ailleurs sur ses rives, des docks, des formes, des chantiers de construction, qui sont des propriétés privés.

Port de Liverpool sur la Mersey.

Figures 570 des planches.

Tous les bassins d'échouage, docks, formes sèches de radoub de Liverpool, sont situés sur la même rive de la rivière de la Mersey.

Liverpool possède huit bassins et ports d'échouage, douze bassins de flot ou docks, quatre bassins dits de mi-marée, neuf formes sèches de radoub, affectés aux catégories différentes de navires.

Les édifices des docks sont d'une hauteur prodigieuse et comptent jusqu'à douze et treize étages. Dans quelques-uns, des files verticales de portes aux divers étages alternent avec deux files de fenêtres adjacentes; dans d'autres il y a une file de portes pour chaque file de fenêtres : dans le plus grand nombre de ces édifices, il n'y a qu'une seule file verticale de larges portes au milieu de la longueur. Toutes les files sont soutenues par des petits frontons, qui fournissent des points d'appui aux *mouffles* de levage

Les déblais des docks les plus récemment exécutés étaient enlevés par des chariots portant 7 à 800 kilog., roulant sur des chemins de fer dont les éléments de 1 mètre de longueur; pesant 27 kilog. étaient facilement amovibles. La terre était taillée à pic jusqu'au niveau du fond du bassin, et toutes les routes horizontales convergeaient vers quelques rampes de 10 mètres de hauteur verticale. Les chariots étaient traînés par des chevaux qui les amenaient sur une plate forme de rotation située au pied de la rampe. Le conducteur arrêtait en dételant son cheval, faisait tourner le chariot et l'accrochait à la chaîne qui devait le traîner au haut de la rampe. Le cheval s'attelait ensuite au chariot vide qui venait de descendre, et le ramenait au pied de l'excavation. Les chariots pleins montaient sur la rampe pendant que ceux qui étaient vides descendaient, à l'aide d'une machine à feu stationnaire, placée au haut de cette rampe.

Le chariot chargé, parvenu en haut, était conduit par un cheval sur un chemin de fer, jusqu'aux points où il devait effectuer son versement, d'où le même cheval le ramenait au point de départ. La machine à vapeur motrice était employée pendant les heures de repos des ouvriers, à broyer des ciments et à corroyer des mortiers. Les fig. 648 des planches représentent la disposition générale de cet ensemble d'opérations. Figures 648 des planches.

Aux nouveaux docks de Liverpool, il existe aussi une grue dans laquelle l'élévation des fardeaux jusqu'à 11 mètres de hauteur est produite par une machine à vapeur de la force de 20 chevaux, et le mouvement de rotation par des hommes.

Port de Hull situé dans l'angle saillant que forment les rivières de Hull et de l'Humber.

Ce port possède trois docks; l'un dit le *vieux dock* communique par une écluse et un avant-bassin avec la rivière de Hull, qui était jadis le seul havre de stationnement de la localité; le deuxième dock débouche Figures 570 des planches

dans la rivière d'Humber, également par une écluse et un avant-bassin; enfin le troisième dit dock de *jonction*, est placé entre les deux précédents, et communique avec chacun d'eux par une écluse. On voit que par cette disposition on peut, en traversant les docks, passer de la rade de la rivière de Hull dans celle de l'Humber, en évitant leur point de confluence. Les travaux des trois docks sont décrits dans une notice intéressante insérée, par l'Ingénieur Timperley, dans l'ouvrage anglais intitulé *Transactions de la société des Ingénieurs civils*; dont on a tiré les détails qui suivent :

Vieux dock de Hull

Figures 570 des planches

Le vieux dock a été reconstruit après six ans d'existence, par suite des mouvements qu'avaient éprouvés les fondations des quais de l'avant-bassin d'échouage, celles de l'écluse et des quais du dock lui-même. Ces fondations sur un terrain d'alluvions n'avaient consisté qu'en pilotis d'une force insuffisante, avec grillages ordinaires; et on ne s'était pas tenu en garde contre l'action transversale de la poussée; aussi le radier de l'écluse avait gonflé de $0^m,08$; les bajoyers au droit des portes avaient surplombé; les murs des docks étaient sortis de leurs alignements primitifs.

Dans les nouveaux ouvrages de fondation des docks et des écluses de Hull, on renforça les pilotis, et on battit vers le large une rangée de palplanches jointives. Néanmoins il y eut encore de légers mouvements, particulièrement dans l'emplacement d'un pont à bascule de passage, où l'on remarqua des déliaisons entre les maçonneries de devant et les contreforts du côté des travées.

Pour consolider contre la poussée des vases chargées par les remblais, les murs de soutènement de l'avant-bassin d'échouage et ceux du vieux dock, murs qui n'étaient séparés que par un intervalle de près de 25 mètres au couronnement, M. Rennie réunit leurs fondations par des arceaux isolés en voûte renversée de $1^m,60$ de flèche, ayant $1^m,80$ de longueur suivant l'axe, et $0^m,55$ d'épaisseur à la clef, séparés par des vides d'environ $2^m,30$. Ces arceaux se raccordent par des arrondissements en demi-cercle avec les parois montantes des soutènements.

Nouveau dock du Humber avec avant-bassin à Hull en Angleterre.

Les travaux de l'écluse du dock et du dock lui-même, ont été faits à l'abri d'un vaste batardeau demi-circulaire de 34 mètres de corde, formé de deux rangées concentriques ayant moyennement 1,000 pieux jointifs en sapin de $0^m,325$ à $0^m,35$ d'équarrissage. Les deux rangées étaient à $2^m,25$ l'une de l'autre et bien liées haut et bas par des tirans en fer. Le vide, après draguage préalable, avait été rempli en briques noyées

Figures 570 des planches.

jusqu'au niveau des hautes eaux. Malgré sa bonne construction, ce

batardeau menaça de rompre dans des marées extraordinaires qui le soumettaient à une charge d'eau de 10 mètres; et on fut obligé de l'accorer à l'intérieur.

Les murs de l'écluse et du dock de Humber furent fondés comme ceux du vieux dock reconstruit; mais de plus on eut soin de donner à la plate-forme du grillage de fondation une pente descendante de 15° vers l'intérieur des terres. Toutes ces précautions ne purent empêcher que, même avant que les murs du dock ne fussent à hauteur, ils ne sortissent de 0m,60 sur l'alignement primitif de 274m,20 de longueur. On se hâta de jeter une grande quantité de terres à leur pied, sur 3 mètres de hauteur au milieu de la longueur de l'alignement, et sur 2 mètres à l'origine de ces alignements. Après la mise en service du dock, l'eau de l'intérieur ayant été abaissée momentanément jusqu'à 3m,90 du fond, le mur de l'Est du dock recommença à éprouver des mouvements; mais le rétablissement du niveau primitif de l'eau les arrêta. Toutefois cette circonstance détermina à ne plus faire descendre notablement le niveau intérieur de l'eau.

Les bajoyers de l'écluse au droit des ventaux, ayant fléchi et surplombé de 0m,08 de chaque côté, et les ventaux ne pouvant plus se fermer; on fut obligé de les enlever, de refaire les encoignures des encadrements des portes, et de retenir ces dernières par des tirants en fer prolongés très-avant dans l'intérieur des terres.

Aux deux tiers de la longueur de l'écluse, on a réservé des rainures en retraite pour recevoir un bateau-porte qui avait servi de batardeau après l'achèvement de l'écluse, et qui devait servir ultérieurement en cas de réparation des portes. Une machine à feu, de six chevaux, avait suffi à la fois : à enlever les eaux de filtrations sur la surface totale de l'enceinte des travaux de 30,000 mètres carrés; et à faire mouvoir les sonnettes à déclic du battage des pieux de fondation. Cette machine agissait sur deux pompes de 0m,28 de diamètre intérieur.

La durée des travaux commencés en 1802, a été de sept ans.

L'exécution de ce dock devait être faite sans contrarier le service des deux docks qu'il réunissait. On construisit donc dans chacun, vis-à-vis les écluses du nouveau dock, deux batardeaux dans le même système que celui du dock du Humber. L'un de 66 mètres de corde sur 18 mètres de flèche; l'autre de 34m,50 de corde, sur 4m,20 de flèche. Les rangées de pieux furent espacées de 1m,80; et le corroi intérieur après draguage préalable fut effectué en terre glaise pilonnée. Malgré ces dispositions, la

grande charge d'eau ayant fait déverser quelques pieux vers le haut; on se décida à former au dehors de l'un des batardeaux, un second batardeau avec noyau en terre et parois en maçonnerie de briques. Le vide entre les deux murs avait 9 mètres de largeur dans le bas, et $2^m,40$ dans le haut; les maçonneries avaient elles-mêmes $1^m,80$ d'épaisseur dans le bas, et $0^m,75$ dans le haut.

Pour éviter les effets observés dans les deux docks précédents, on éleva les murs des docks sur un tracé *curviligne en plan* et concave vers l'axe du dock, de $2^m,10$ de flèche sur 193 mètres de longueur; puis on remplit en maçonnerie de mortier hydraulique de $0^m,50$ de haut, toute l'étendue de la plate-forme de fondation. Un corroi analogue recouvert de terre forte fut placé à l'extérieur des palplanches du devant.

Dans le battage des pieux, on avait cru remarquer que *l'état de la tête des pieux*, la position des pièces relatives à la ligne de chute du mouton, avaient la plus grande influence sur l'enfoncement des pieux.

Vers la fin des travaux, des filtrations se manifestèrent au batardeau établi pour les fondations de l'écluse de jonction du côté du vieux dock. A cette époque heureusement l'écluse était construite et munie de ses portes; bientôt l'eau remplit toute l'enceinte occupée entre le batardeau et les portes de l'écluse. Par crainte d'accidents dans les maçonneries encore fraiches de l'écluse on se décida : à ouvrir les ventelles des portes; à faire entrer l'eau dans le nouveau dock de jonction; et en même temps à faire baisser l'eau dans le vieux dock par les ventelles du côté de la rivière de Hull. Malgré ces mesures, la brèche du batardeau continua à grandir; et le courant des eaux par cette brèche, minant les fondations des murs du vieux dock, les fit écrouler sur 18 mètres de longueur.

Deux machines à feu de six chevaux servaient, pendant les travaux, à enlever les eaux de filtration, à triturer les ciments, et à corroyer les mortiers.

Les travaux, commencés en octobre 1829, furent terminés en deux ans et demi.

Docks de la Tamise à Londres.

Il existe en ce moment à Londres cinq groupes principaux de docks, dont quatre sur la rive gauche au nord, sont placés de l'amont à l'aval:

Figures 570 des planches

Le groupe des docks de Sainte-Catherine, au nombre de trois commencés en 1826, et terminés en 1829;

Le groupe des docks, dits *de Londres*, au nombre de trois commencés en 1800 et achevés en 1805;

Celui des docks des Indes-Occidentales, au nombre de quatre commencés en 1800 et achevés en 1802;

Celui des docks des Indes Orientales, au nombre de deux commencés en 1803, achevés en . . . . . .

Le seul groupe de docks placé sur la rive droite, est celui dit *commercial docks*, composé de six docks, et le plus récent des établissements de ce genre à Londres.

Docks de Sainte-Catherine.

L'écluse d'entrée de ces docks vers la Tamise, présente deux sas consécutifs dans le sens de la longueur: le premier, vers la Tamise, peut admettre des navires de 600 tonneaux, trois heures avant la basse mer et trois heures après. Par des sassements les navires parviennent à l'écluse supérieure, et de là au premier dock dit d'*entrée*. On a encore abaissé le seuil de $1^m,30$ depuis le premier établissement; de manière qu'il y a un mur de chute de cette hauteur vers l'intérieur du dock. Une machine à feu de cent chevaux fournit l'eau des sassements dans les mortes eaux. Figures 649 des planches

Les édifices des docks viennent jusqu'au bord des quais. Des colonnes creuses en fonte, de $1^m,30$ de diamètre à la base, espacées de $1^m.80$ d'axe en axe dans le sens transversal, et de $5^m,20$ dans le sens longitudinal, y remplacent les poteaux et piliers ordinaires. Les marchandises peuvent être directement élevées par des grues, du pont des navires aux divers étages, et *vice versâ*. Les portes sont en bois et curvilignes intérieurement et extérieurement. La dépense de construction a été de plus de 53,800,000 francs pour les docks, édifices et machines.

Docks dits de Londres.

Les docks de Londres communiquent avec la Tamise par trois débouchés ou écluses distinctes. Leur étendue, y compris les édifices et rues, est de plus de 28 hectares. Sur quelques quais de ces docks, des hangars sont placés en avant des magasins; dans d'autres, les magasins s'avancent jusque sur les bords des quais. Des caves voûtées en arc *de cloître*, de $2^m,80$ de hauteur sous clef, se trouvent sous les magasins, dans une étendue de

Docks de Londres destinés au dépôt exclusif de tous les spiritueux.

Figures 650 des planches.

72,000 mètres carrés; et peuvent recevoir jusqu'à 66,000 pipes de spiritueux ou 159,720 hectolitres.

Des chemins de fer sont établis en avant des magasins et le long des hangars, sur les quais, partout où il y a une rue entre eux. D'autres chemins de fer croisent les premiers à angle droit, conduisent du bord des quais à l'intérieur des magasins. Des raccordements obliques facilitent la communication des premiers chemins avec les seconds. Les rebords des ornières de fer restent un peu en-dessous du pavé.

Les portes d'écluse sont curvilignes; et leurs entretoises sont formées de plusieurs pièces élémentaires juxtaposées, comme des claveaux de voûtes en maçonnerie. Le fonds primitif de dépense pour les docks, édifices et magasins, a été de 37,500,000 fr.

La compagnie qui a créé cet ensemble de docks, a établi un droit d'entrée de 1 fr.,25 par tonneau; un droit de stationnement de 0 fr.05, indépendamment des droits pour dépôts dans les magasins.

Docks des Indes-Occidentales.

Figures 651 des planches.

Ces docks sont très-avantageusement situés dans une presqu'île, nommée l'île des Chiens, que forme un coude de la Tamise : ils en occupent l'isthme, et ont leur débouché sur chacune des branches du coude.

Un grand réservoir d'eau très-élevé et deux autres réservoirs plus bas, pourvoyent aux sassements; et le plus élevé peut aussi fournir l'eau en grande abondance en cas d'incendie.

La superficie totale des docks, y compris édifices et magasins, est de 56 hectares. Des bâtiments de 1,200 tonneaux peuvent être admis dans les docks.

L'un des docks sert aux importations et l'autre aux exportations.

Figures 652 des planches

Les hangars exécutés en fer par M. Rennie, sont presqu'à l'aplomb des murs de quai. Les magasins sont en arrière des hangars, mais à une petite distance. Ces magasins présentent également des caves voûtées. L'un d'eux compte onze étages. Les façades du côté des docks présentent des portes-fenêtres pour l'ascension et la descente de marchandises à l'aide de grues. Le sol des hangars de pesage et de dépôt temporaire, est pavé en dalles de granit ou en dallages de fonte de 1m,30 en carré, qui ont mieux résisté que les dalles en granit.

Il n'y a point ici de chemins de fer sur les quais comme aux docks de

Londres ; on a trouvé qu'ils gênaient la circulation, et on y a suppléé par de longues dalles de pierres.

Les magasins de ces docks présentent des particularités remarquables :

La première, c'est le moyen de faire descendre les barriques dans les caves :

La deuxième, l'éclairage de ces caves sans y faire entrer des lampes et fanaux :

La troisième, les moyens de transporter, d'empiler et de désempiler les billes d'acajou et d'autres essences :

Le premier moyen consiste dans un plateau carré porté par une tige en fer, qui peut monter et descendre lorsqu'il est chargé de fardeaux, par des écoutilles ou puits pratiqués dans les voûtes des caves. La tige est tenue en équilibre par deux contre-poids qui peuvent se mouvoir dans deux petits puits verticaux et sont tenus par des chaînes attachées au plateau. Quand on place un fardeau très-lourd sur le plateau, ce dernier descend ; et l'on règle sa descente par une pièce qui agit sur les contre-poids. Le plateau descendu, et débarrassé de sa charge, remonte par l'effet des contre-poids.

La même machine sert à monter les fardeaux au moyen d'un système de roues dentées, mues par des hommes, et qui, agissant comme une presse hydraulique, forcent l'eau à passer sous un piston qui porte la tige de fer.

Le deuxième moyen, relatif à l'éclairage des caves, se compose de grands verres lenticulaires pareils à ceux qui servent aujourd'hui à faire pénétrer jusqu'à fond de calc des navires, la lumière arrivant sur le pont. Ces lentilles reposent dans des orifices ménagés dans la clef des voûtes. Figures 653 des planches Deux des soupiraux en entonnoirs sont munis de réflecteurs en fer-blanc ; la lumière réfléchie par eux vient tomber sur un autre miroir en fer-blanc *mobile* sur un pied *amovible*, de manière à réfléchir la lumière sur un point quelconque. Les ouvriers eux-mêmes possèdent des miroirs qui leur servent à voir dans les endroits les plus obscurs, lorsqu'ils les présentent convenablement aux jets de lumière venus des soupiraux.

Le troisième expédient consiste : à faire courir longitudinalement par le milieu des travées des planchers des combles, sur des chemins de fer Figures 654 des planches. à crémaillères, un chariot qui porte un treuil a engrenage en fonte. Ce treuil sert à saisir les pièces d'acajou qui sont au rez-de-chaussée et à les transporter sur un point quelconque de la longueur du bâtiment.

La dépense première pour les docks, édifices, machines, etc., etc., a

été de trente millions de francs. Les produits en 17 ans avaient payé toutes les dépenses annuelles, servi un intérêt de 10 p. 100, et économisé une réserve de vingt millions.

Les droits d'emmagasinage sont de 1fr. 70 par quintal métrique; 2fr 22 par hectolitre de rhum; de 3fr. 70 par quintal métrique de café; enfin de 6fr. 20 par quintal métrique de coton.

Docks des Indes-Orientales.

Figures 655 des planches

Les docks des Indes-Orientales n'ont qu'un seul débouché dans la Tamise. Les navires qu'ils reçoivent étant d'un fort tirant d'eau, ont comparativement une faible surface de flottaison; la richesse de leur cargaison en réduit le nombre; enfin les voyages étant de longue durée, il y a peu de navires au mouillage habituellement, comparativement à tous ceux qui sont en route. Les docks ont donc moins d'étendue, moins de hangars et de magasins queceux décrits ci-dessus. La grande valeur des marchandises en dépôt a fait entourer ces docks de hautes murailles. Les marchandises importées se rendent, après le pesage et le contrôle, immédiatement au domicile des propriétaires. On se sert à cet effet de chariots portant une caisse bien fermée et d'une grande dimension, munie d'une porte à clef.

La dépense totale de l'établissement n'a été guère que d'environ dix millions de francs.

Commercial docks.

Figures 656 des planches.

Ces docks n'ont qu'une seule entrée pour les six bassins qui forment le groupe principal. La surface totale de l'enceinte est de 607,232 mètres carrés, dont 233,856 mètres carrés en surface d'eau. Un petit nombre seulement de ces docks est pourvu de hangars de pesage et de magasins; ces derniers s'avancent jusqu'au bord des quais. Les docks sont particulièrement employés pour les navires chargés de blé, de provisions alimentaires, de bois de construction, de résineux, et des diverses productions de la Baltique, et de l'Amérique anglaise. Ils servent aussi de fosses d'immersion et de conservation pour les bois. Les magasins pour les blés peuvent contenir jusqu'à 210,000 hectolitres.

L'un des docks les plus spacieux, celui du *Groëland*, pourvu d'une

écluse d'entrée, a été acheté par la compagnie des actionnaires pour dix millions. Sa surface, y compris l'écluse, est de 41,914 mètres carrés; et son développement, y compris l'écluse, de 832 mètres; ce qui fait ressortir le mètre carré de surface d'eau à 238 fr., et le mètre courant de développement à près de 12,000 francs.

Ports militaires d'Angleterre.

Les ports militaires d'Angleterre présentent aussi plusieurs bassins de flot pour les vaisseaux et bâtiments d'un rang inférieur.

Ainsi à Deptford, sur la rive droite de la Tamise, en aval de Londres, il existe un bassin éclusé sur fond vaseux, fermé par un bateau-porte. L'entrée est formée par une voûte renversée continue qui s'oppose efficacement à la poussée des vases et aux filtrations. Une rainure profonde légèrement évasée vers le haut, suivant le contour intrados de la voûte renversée, sert à recevoir la quille, l'étrave et l'étambot; en sorte que le bateau-porte, symétrique sur ses flancs et à une seule quille, peut à volonté retenir les eaux de l'intérieur ou arrêter les eaux de l'extérieur. Deux pompes aspirantes sont destinées à vider le bateau-porte lorsqu'on veut le faire émerger.

A Woolwich, situé sur la même rive de la Tamise que Deptford, et en aval de ce dernier arsenal, il existe un bassin de flot à la suite d'un avant-bassin. Mais les causes de l'exhaussement progressif des bas-fonds de la Tamise vis-à-vis Woolwich, agissent aussi sur ce dernier port, qui abonde en dépôts vaseux. La dépense moyenne de curage annuel y est de 400,000 fr.

A Sheerness, dans l'île de Sheppey, sur la rivière de Medway, il existe un grand bassin carré fermé par un bateau-porte, et destiné aux vaisseaux en armement ou en radoub.

On a eu soin de ne pas diriger son entrée perpendiculairement au cours de la rivière, mais bien avec inclinaison vers l'aval, de manière à former un angle aigu avec le fil de l'eau du jusant. Car on avait remarqué que ce temps de la marée était celui où la Medway tenait le plus de troubles en suspension. Le jusant par cette disposition ne tend pas à pénétrer dans l'entrée, et n'y dépose pas. Au contraire au flot, l'eau s'engouffre avec force dans le canal d'entrée qu'elle cure naturellement.

Portsmouth, situé sur la côte sud d'Angleterre, possède deux bassins

de flot, fermés par des bateaux-portes, dont le plus récent a 114 mètres sur 80 mètres.

Avant-port et bassin de flot du nouvel arsenal maritime de Cherbourg.

Les travaux de l'avant-port et du bassin de flot du port militaire de Cherbourg, dirigés par M. le baron Cachin, et exécutés successivement par MM. les Ingénieurs Eustache, Fouques-Duparc et Leroux, ont présenté de grandes difficultés heureusement résolues.

Figures 5.5 des planches.

L'avant-port, de 292 mèt. de longueur sur 230 mètres de largeur, devait être creusé dans le roc vif, sur une profondeur de $8^m,37$ en contre-bas des basses mers d'équinoxe ; bien que la passe d'entrée vers le large ne présentât qu'environ 5 mètres de profondeur d'eau en contre-bas du même niveau. Les deux môles d'entrée et les bajoyers de la passe avaient été fondés sur le rocher par l'intermédiaire de massifs en béton qui rachetaient la différence depuis le sol jusqu'aux basses mers. Les murs de revêtements intérieurs de l'avant-port avaient été assis directement sur le rocher qui découvrait à basse mer ; et l'enceinte de l'avant-port avait pu être déblayée jusqu'au même niveau ; mais il restait à l'approfondir jusqu'à 8 mètres en contre-bas.

Il était évident que l'emploi de batardeaux submersibles, et le travail avec la cloche à plongeur, ne pouvaient convenir ; l'un à raison des épuisements énormes qu'il y aurait eu à faire dans un court intervalle de temps ; le second, à raison de son extrême lenteur. Il était donc devenu nécessaire : d'établir en travers de la passe un batardeau insubmersible capable de résister aux vagues du large ; et de se précautionner contre l'irruption des filtrations, en *morcelant par zônes* le travail des excavations intérieures.

Le batardeau avait à supporter un minimum de charge d'eau de 6 mètres à basse mer, et un maximum de 13 mètres au plein de la mer. Son développement devait être de 64 mètres.

Le sol, étant un rocher très-dur, se refusait au système ordinaire de batardeaux avec pilotis et palplanches; et la charpente ne pouvait être œuvrée sur place, parce qu'elle aurait été soumise à toutes les variations des marées. Il fallut donc élever préalablement cette charpente sur un chantier abrité, et assez près de la laisse des basses mers pour qu'il fût possible de l'enlever par des moyens de flottaison, de la remorquer et de la couler à sa destination. L'ensemble de cette charpente pesait

1,500,000 kilogrammes et contenait 1,300 stères de bois. On avait pensé à la décomposer en plusieurs tranches, qu'on aurait mises à flot et coulées séparément, par les procédés employés à Carlscrona par le célèbre Thunberg. Mais l'on recula devant les chances d'un raccordement incomplet et d'une solidarité presque entièrement détruite. On s'arrêta donc à l'imitation des procédés suivis pour la mise à flot et l'échouage des cônes construits par M. Décessart pour la digue de Cherbourg. Figures 1 à 2 des planches

Deux rangs de fermes semblables composèrent les faces intérieure et extérieure du batardeau ; ils étaient à 8 mètres d'intervalle. Cet intervalle était destiné à être en entier comblé en terre glaise, et à être dégagé de tout assemblage de charpente qui aurait pu faciliter l'infiltration des eaux. Les deux rangs de fermes furent seulement liés entre eux provisoirement par des croix de Saint-André, assemblées à une hauteur supérieure au niveau des basses mers, afin d'être plus facilement démontées lorsque le moment de la démolition serait venu. Figures 2 à 4 des planches.

La mise à flot de ce système exigeait le déplacement d'un volume d'eau de près de 1,400 mètres cubes. Le moyen le plus simple d'opérer ce déplacement avait paru d'*encaisser* avec solidité la partie inférieure des fermes. Leurs faces extérieures devaient déjà être nécessairement bordées pour contenir les terres du massif : il ne restait donc plus qu'à les border extérieurement en dessus et à leurs extrémités pour former des caisses imperméables dont le vide, composé d'éléments prismatiques, fût reconnu susceptible de produire la mise à flot, sur $2^m,63$ de tirant d'eau.

L'expérience confirma ces appréciations ; et cet appareil de charpente, l'un des plus considérables dont on ait tenté le déplacement, fut mis à flot le 5 septembre 1807, remorqué et coulé définitivement le même jour à sa place.

Les caisses qui avaient opéré la mise à flot du batardeau, servirent à le fixer immédiatement sur le fond. Elles furent coulées sur-le-champ avec du sable, qui était la matière la plus facile à enlever par les dragues et les courants lorsqu'il s'agirait de détruire le batardeau. Le poids de ce remblai fut plus que suffisant pour prévenir le déplacement.

Les extrémités du batardeau laissaient un vide entre elles et les parements des môles de rive ; parce que les fondations de ceux-ci anticipaient de 3 à 4 mètres sur le fond au delà de leur parement. On ferma les vides par des vannages et pilotis jointifs, dont les intervalles d'un côté à l'autre du batardeau furent remblayés en terre glaise immergée jusqu'au niveau des basses mers. Au-dessus de ce niveau, le batardeau fut bordé en madriers jointifs pour contenir la terre glaise du noyau.

Ce batardeau résista parfaitement à l'action des vagues; mais sa destruction solennelle lors du passage de l'impératrice Marie-Louise rencontra de grandes difficultés; et il fallut recourir à la cloche à plongeur pendant plusieurs années consécutives pour déblayer la passe complétement.

Les eaux de filtrations dans l'enceinte à excaver n'étaient pas très-considérables; cependant elles s'élevaient à 9 mètres cubes d'eau par minute, et les machines à vapeur en activité ne pouvaient enlever qu'environ 3 mètres cubes. Il y aurait donc eu insuffisance si l'on n'avait eu soin, 1° de réserver, dans la construction des môles, des acqueducs de communication avec la basse mer du large, pour écouler ainsi naturellement les eaux de filtrations; 2° d'accumuler ces dernières, dans les zônes des excavations qui devaient êtres creusées les dernières, d'où elles s'écoulaient à basse mer.

Figures 657 des planches.

La figure 657 des planches représente la situation des travaux au 15 avril 1809. On y peut remarquer les rampes par lesquelles montaient et descendaient les hommes et les chevaux qui enlevaient les produits des extractions. Au moment de la plus grande activité des travaux d'excavation, on y employa simultanément en 1808, 1,500 hommes, 400 chevaux et 100 tombereaux. Le cube total des excavations mesuré en déblais a été de 1,071,422 mètres cubes, qui ont coûté environ 6fr.21 l'un, pour forage de mines, exploitation, enlèvement et transport.

Les parois du rocher excavé au pied des murs de revêtement, présentent du reste une risberme suffisante pour protéger les fondations des murs, et qui n'est toutefois pas assez saillante pour gêner l'accostage des bâtiments.

L'avant-port de Cherbourg peut contenir 20 vaisseaux de ligne quand la mer n'est pas trop agitée. La dépense; pour l'excavation du rocher sur près de 9 mètres de profondeur; pour la construction en pierres de taille de granit du pourtour des quais de 9 mètres de hauteur moyenne, à l'Est, à l'ouest, au nord; pour amorcer l'écluse de communication avec l'arrière-bassin de flot; enfin pour le chenal et les musoirs de la passe d'entrée, s'est élevée à 16,618,906 fr. Cet avant-port, commencé en 1804, n'a été terminé qu'en 1813.

Le bassin de flot au nord de l'avant-port a été creusé à la même profondeur et revêtu en maçonnerie dans les zônes supérieures au rocher, de 1825 à 1827. On a calculé que sur sa longueur de 290 mètres et sa largeur de 217 mètres il pourrait admettre 30 vaisseaux de ligne de premier rang, *placés de bout* aux quais Est et ouest.

Ce bassin communique avec l'avant-port par une écluse simple dont la construction avait été amorcée du côté de l'avant-port pendant qu'on

exécutait ce dernier, et qu'on avait munie, après l'achèvement de l'avant-port, d'un bateau-porte destiné à servir ultérieurement de batardeau à l'abri duquel le reste de l'écluse devait être fait.

D'après les décisions primitives,

1° Le fond du bassin ne devait être qu'à $5^m,12$ en contre-bas des plus basses mers d'équinoxes; en ajoutant à cette cote la dénivellation des moindres hautes mers de morte eau, on avait en effet une profondeur d'eau suffisante pour les vaisseaux de premier rang tout armés.

Mais on a craint que s'il arrivait quelque accident aux portes, les bâtiments dans les *basses mers de vive eau* ne fussent exposés à l'échouage. On a voulu s'assurer la possibilité de renoncer à l'emploi des portes, et de laisser communiquer librement l'avant-port avec le bassin de flot; et la profondeur définitive du bassin de flot a été portée à $9^m,20$.

2° Le radier de l'écluse mentionné ci-dessus ne devait être qu'à $2^m,60$ en contre-bas des plus basses mers d'équinoxes; parce qu'on avait supposé qu'un vaisseau admis dans l'avant-port pourrait sans inconvénient y attendre la marée convenable, pour traverser l'écluse et pénétrer dans le bassin. Il résultait de là que, dans le cours d'une année, un vaisseau de 120 canons chargé au tirant d'eau de $8^m,18$ avec $0^m,25$ de jeu sous la quille, aurait pu franchir l'écluse pendant 142 marées; qu'un vaisseau de 80 tout armé tirant avec le même jeu $7^m,70$ d'eau, n'aurait eu cette faculté que pendant 229 marées; et qu'un vaisseau de 74 canons tout armé, tirant $7^m,30$ d'eau, aurait pû être admis pendant 303 marées; enfin qu'une frégate armée eût seule pu traverser l'écluse pendant toute l'année. Figures 299 et 641 des planches.

Mais l'expérience ayant prouvé, *avant l'exécution de la branche Est de la digue*, que l'agitation de la mer dans les gros temps et dans l'avant-port y compromettait la sûreté des bâtiments; il fut jugé nécessaire, sans attendre les effets ultérieurs des travaux alors interrompus à la digue, d'approfondir de $1^m,60$ le radier de l'écluse; c'est-à-dire de le porter à la même cote minimum de $4^m,20$ de hauteur d'eau qui se trouve déjà dans la passe d'entrée de l'avant-port vers le large.

Cet approfondissement n'était pas seulement une augmentation de dépenses; mais il présentait de grandes difficultés pour l'écluse dont la tête du côté de l'avant-port était déjà fondée, et servait à la tenue du bateau-porte faisant fonctions de batardeau. Il fallait en effet en deux reprises de travail; d'abord exécuter l'opération dans toute la zône nord vers le nouveau bassin, en serrant d'aussi près que possible vers le sud le bâteau-porte de fermeture; puis après avoir établi les nouvelles fermetures dans cette zône,

enlever le bateau-porte et compléter le travail dans la zône où ce bateau-porte reposait et était appuyé antérieurement.

Cette œuvre difficile a été accomplie avec le plus grand succès de 1828 à 1830, par M. l'Ingénieur Leroux, et de la manière suivante tracée par la commission consultative des travaux de la marine.

Le bateau-porte faisant batardeau du côté de l'avant-port, a été chargé de tout le lest qu'il pouvait contenir, afin de diminuer sa tendance au glissement sous la poussée. L'on a augmenté aussi par un massif de lest la résistance de la partie des maçonneries du radier qui servait d'appui à ce bateau-porte pendant la première période de travail.

Cette fermeture, faisant saillie dans l'avant-port, après avoir été consolidée dans le canevas intérieur de sa charpente, a été accorée à ses extrémités par des arcs-boutants obliques qui reportaient la poussée contre les murs de revêtement de l'avant-port à droite et à gauche de l'entrée de l'écluse.

On a ensuite démoli les maçonneries intérieures *par tranches* en commençant par les plus éloignées du bateau-porte qui correspondaient aux chardonnets, busc, et origine des enclaves des portes de flot. Les anciennes maçonneries d'appui du bateau-porte au sud, étaient étayées au fur et à mesure sur les nouvelles maçonneries intérieures de l'écluse, au moyen de pièces de bois amovibles qui, par leur nombre et leur équarrissage, pouvaient faire équilibre à la poussée de 1,254 tonneaux, transmise par le bateau-porte. Les chargements de lest en fonte et le bateau-porte ont été ensuite enlevés; et il n'est plus resté à approfondir qu'une zône de 7 mètres dans le sens de l'axe de l'écluse vers l'avant-port. Elle ne devait être qu'aplanie, et revêtue simplement en maçonnerie pour la pose du heurtoir d'un bateau-porte de réserve destiné à soutenir les eaux du côté de l'avant-port. Ce dernier travail a été exécuté par une sonnette montée sur un radeau ponton, et frappant sur des faux pieux armés de ciseaux tranchants en fer. Ces faux pieux et ciseaux étaient dirigés par des ouvriers plongeurs. Le revêtissage partiel en maçonnerie de cette zône sud du nouveau radier, a été fait avec la cloche à plongeur.

Le système de fermeture de l'écluse approfondie avait été l'objet de longues discussions.

D'abord on avait pensé à soutenir les eaux dans le bassin seulement à l'aide de portes d'Ebe ou d'un bateau-porte susceptible aussi par sa forme de retenir à volonté les eaux extérieures pendant le flot, et les eaux intérieures pendant le jusant. Mais le bateau-porte avait été reconnu ne pouvoir être manœuvré par les gros temps, à cause de la forte houle qui *existait alors*

dans l'avant-port ; cette houle pouvait aussi concourir, dans les vives eaux, avec les eaux du flot et causer des dommages très-graves *aux portes d'Ebe uniques*; dommages que des *valets d'accorage* vers l'intérieur ne semblaient pas pouvoir prévenir.

On en vint ensuite à proposer la combinaison de ces deux moyens; et le placement du bateau-porte à l'extérieur vers l'avant-port, et celui des portes d'Ebe vers le bassin de flot. Celles-ci devaient être habituellement ouvertes, surtout dans les gros temps.

Mais ce système avait été repoussé, 1° parce que toutes les fois qu'il y aurait eu de la houle dans l'avant-port, on n'aurait pas ouvert l'écluse par crainte, de ne pouvoir manœuvrer le bateau-porte; 2° que toutes les fois que par une cause quelconque, le bateau-porte n'aurait pu être remis en place, les portes d'Ebe auraient couru les mêmes chances que si le batardeau n'avait pas existé.

On adopta en conséquence les dispositions suivantes :

Portes de flot du côté de l'avant-port avec valets intérieurs d'accorages pour soutenir le choc des vagues;

Portes d'Ebe du côté du bassin accorées de la même manière;

Bateaux-portes facultatifs aux deux têtes de l'écluse, comme moyens de fermeture subsidiaires, en cas de réparations de l'écluse et de ses portes;

Indépendamment de ces charpentes l'écluse porte un pont-tournant.

Les figures 299, 430, 440, 641, des planches, représentent l'ensemble de ces dispositions. On peut remarquer qu'habituellement, pour soulager les portes d'Ebe et de flot, on pouvait laisser l'eau se maintenir à un certain niveau dans l'intervalle qui les sépare. Figures 299, 430, 440 et 641 des planches.

Ainsi qu'il a été dit, les nouvelles portes du bassin de flot devaient être presque de la même pesanteur spécifique que l'eau, à l'aide d'un bordé extérieur appuyé sur les deuxième, troisième, quatrième, cinquième et sixième entretoises. Le bordé formait ainsi quatre cases séparées, d'une capacité ensemble de 14 mètres cubes qu'on eût pu remplir et vider à volonté à l'aide de robinets, en sorte qu'on eût atteint le point précis où les portes tendaient à émerger. On a dit aussi par quelle cause ces prévisions ont été démenties. Figures 299, 430 et 440 des planches.

Pour soutenir les ventaux dans toutes leurs parties, M. l'Ingénieur Leroux avait projeté de forts verroux au bas des poteaux busqués; en outre *des embardures* ou *espagnolettes* devaient maintenir juxtaposés à leur tête supérieure, les deux poteaux busqués qui s'arc-boutaient.

Pendant que les dispositions projetées pour l'écluse et ses fermetures

s'exécutaient, on avait entrepris à la digue les maçonneries de la muraille de la branche Est. On s'aperçut bientôt que ce travail, en s'avançant progressivement diminuait de beaucoup dans les gros temps l'agitation de la mer dans l'avant-port.

On se dispensa en conséquence de mettre en place les portes de flot, et on les garda pour servir ultérieurement a remplacer les portes d'Ebe, dont judicieusement on leur avait donné toutes les dimensions. Les portes d'Ebe elles-mêmes restent aujourd'hui habituellement ouvertes et débarrassées de leurs valets; et les marées jouent librement dans le bassin comme dans l'avant-port.

La dépense du creusement du bassin de flot dans le rocher, celle des murs de quai de pourtour, s'est élevée à 4,897,373 fr., non compris les écluses de communication avec l'avant-port et l'arrière-bassin en exécution, et avec la gare de mâture projetée au nord.

L'écluse de communication du bassin avec l'avant-port a seule coûté, après les remaniements dont elle a été l'objet, et y compris le pont-tournant, et les portes d'Ebe et de flot, 932,040 fr.

Bassin de flot de l'arsenal militaire de réserve de Dunkerque.

Le bassin de flot que possède la Marine militaire à Dunkerque, de 28,429 mètres carrés de surface, avec écluse simple, dont le seuil est à 6m,37 au-dessus des hautes mers de vive eau, avait été détruit en 1712, par suite d'un traité de paix onéreux avec l'Angleterre. On avait reconstruit ce bassin en 1793, mais on avait supprimé les portes de flot. Le radier n'avait point été réparé dans toute son étendue, et l'on avait même été obligé de le relever de 30 centimètres dans la zône correspondante au busc et aux écluses des portes d'Ebe. Enfin les parements des bajoyers étaient en charpente dans cette zône, tandis qu'ils étaient en maçonnerie dans toutes les autres. Les portes de flot ou d'Ebe n'ayant pas été entretenues, tombaient de désuétude; et l'action journalière des marées chargées de troubles, avait envasé le bassin à ce point; qu'en 1831 il y avait une couche de 4m,50 de haut. Au reste, on avait reconnu que le dépôt mensuel, surtout après l'enlèvement des portes d'Ebe, avait été de 27 mètres cubes par mois ou de 0m,32 de hauteur par an.

En 1831 le bassin fut dévasé, et l'on refit l'écluse, mais en l'élargissant de 13m,36 à 16 mètres dans sa partie supérieure en contre-haut du radier du busc, de manière que des bateaux à vapeur de 220 chevaux pussent

passer en pleines mers de morte eau. On imita à cette occasion ce qui avait été fait vingt-six ans auparavant à Flessingue, par feu M. Sganzin.

Mais les portes d'Ebe, n'ayant à soutenir que $4^m,37$ d'eau, ne furent pas ici divisées en deux sur le sens de la hauteur. Pour les faire servir comme fermetures de flot, on les munit de valets mobiles autour de charnières verticales. Ces valets n'ayant à résister qu'à une différence de niveau du dehors au dedans de 1 mètre à 1,50; leurs entre-toises horizontales devant fonctionner comme pièces chargées de bout, tandis que les entre-toises des portes ordinaires fonctionnent en grande partie comme pièces chargées en travers, on réduisit à cinq le nombre des entre-toises de ces valets. On leur donna d'ailleurs $0^m,45$ sur $0^m,42$ d'équarrissage sur $7^m,80$ de longueur.

Comme des ventelles intérieures n'auraient pu résister à la poussée du dehors au dedans quand les portes d'Ebe accorées par les valets auraient tenu lieu de portes de flot, on plaça à la fois des ventelles vers le large et vers l'intérieur, se soulageant ainsi mutuellement; c'est-à-dire que, lorsque les ventaux auraient eu à résister au flot, les ventelles extérieures eussent été fermées et qu'elles eussent été ouvertes dans le cas contraire. Les ventaux ont été d'ailleurs munis par le bas de verrous qui s'engageront facultativement dans les trous forés de plaques de fer scellées sur le radier.

Ce travail, terminé en 1832 par MM. les Ingénieurs Bosquillon et Cuel, a parfaitement réussi.

L'ouvrage de M. Frissart, intitulé *Histoire du Havre*, présente des faits très-intéressants relatifs à l'établissement successif des divers bassins de flot de cette grande place commerciale.

Le tableau ci-dessous fournit les notions qu'il a été possible de recueillir sur les bassins de flot, docks et darses, existants en France et hors France : c'est plutôt un cadre ouvert pour recevoir les chiffres qu'on n'a pu réunir.

TABLEAU

Des renseignements qu'on a pu recueillir sur les principaux bassins d'échouage, bassins

INDICATION des ports, bassins de flot, docks et darses.	Dépense de construction des bassins et docks.	Dépense de construction des écluses d'entrée.	Dépense totale de construction.	Longueur moyenne des bassins, docks ou darses.	Largeur moyenne des bassins, docks ou darses.	Superficie approximative de la nappe d'eau.	Développement approximatif des quais accostables.	Navires rangés en deux lignes sur chaque rive. Nombre total que le bassin, dock ou darse, peut contenir simultanément.	Navires rangés en deux lignes sur chaque rive. Tonnage total de ces navires.	Navires rangés en trois lignes sur chaque rive. Nombre total que le bassin, dock ou darse, peut contenir simultanément.	Navires rangés en trois lignes sur chaque rive. Tonnage total de ces navires.	Profondeur de l'eau dans le bassin, dock ou darse, aux moindres hautes mers de morte-eau.	Écluse simple. Hauteur de l'eau sur le radier aux moindres hautes mers de morte-eau.	Écluse simple. Hauteur de l'eau sur le radier aux pleines mers des vives eaux ordinaires.
Ports de l'Océan hors France.														
Port de Hambourg.				m.	m.	m.q.	m.							
Premier bassin à l'ouest	.....	.....	.....	210	100	81.200	480							
Deuxième bassin à l'Est	.....	.....	.....	800	120	60.000	800							
Troisième bassin, nommé Binnen-Alster	.....	.....	.....	470	400	172.000	1.800							
Ports de la Hollande.														
Nouveau port du Helder	.....	.....	.....	340	102	33.900	880	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Port d'Amsterdam	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Port de Rapprobourg	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Ancienne écluse de Muyden	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Écluse de Sparendaam	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Écluse de Catwich	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Écluse du sas Loys, près Goude	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Port militaire d'Helvoet-Sloys	.....	.....	.....	837	228	135.000	1.510	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Port de Flessingue.									tonn.					m.
Bassin de flot militaire	.....	.....	.....	300	80	43.281	1.280	28 vaisseaux de 74	27.000	.....	.....	.....	.....	8,10
Bassin de commerce, dit Anglais, rectifié	.....	.....	.....	150	60	9.300	802	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Bassin intermédiaire rectifié	.....	.....	.....	200	42	10.400	600	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Ports de la Belgique.														
Port d'Anvers.														
Premier bassin de flot	.....	.....	.....	163	173	26.218	851	11 vaisseaux de ligne de bout à quai.	23.000	.....	.....	.....	.....	.....
Deuxième bassin de flot	.....	.....	.....	616	173	58.500	776	28 vaisseaux de ligne de bout à quai.	24.000	.....	.....	.....	.....	.....
Ports de la Grande-Bretagne.														
Docks sur la Tamise à Londres.			fr.									m.	m.	
Docks de Sainte-Catherine. — Avant-bassin d'entrée	.....	.....	42,880,000 pour docks, édifices et machines.	181	62	7.300	300	.....	.....	navir. 200	.....	8,00	8.278	6,72
Docks de Sainte-Catherine. — Dock de l'ouest	.....	.....		151	88	14.400	520	.....	.....		.....	8,00	.....	.....
Docks de Sainte-Catherine. — Dock de l'Est	.....	.....		188	114	27.300	858	.....	.....		.....	8,00	.....	.....
						49.400	1.300							

INDICATIF

à flot, docks ou darses, hors France et en France, ainsi que sur leurs fermetures.

Écluse à sas. Hauteur de l'eau sur le radier du large aux moindres hautes mers de morte eau.	Écluse à sas. Hauteur de l'eau sur le radier aux pleines mers des vives eaux ordinaires.	Écluse à sas. Hauteur du mur de chute vers le sas.	Largeur du débouché des écluses simples ou à sas entre le pied des bajoyers.	Largeur du débouché des écluses simples ou à sas entre le haut des bajoyers.	Largeur du sas dans les écluses à sas.	Écluse simple. Longueur de l'écluse de tête en tête.	Écluse à sas. Longueur de sas.	Écluse à sas. Longueur de l'écluse de tête en tête.	Fermetures avec portes tournantes. Saillie du busc.	Fermetures avec portes tournantes. Longueur de chaque ventail.	Fermetures avec portes tournantes. Hauteur des ventaux.	Épaisseur totale des ventaux au milieu de leur longueur. Ventaux en bois.	Épaisseur totale des ventaux au milieu de leur longueur. Ventaux en fonte.	OBSERVATIONS.
			m. 30	m. 40		m. 40				m. 8,88	m. Porte d'amont 8,00 Intermédiaire 4,60 En aval . . . 4,00	m. 0,88 0,80 0,28	m.	Portes d'èbe et de flot. Pont mobile sur l'écluse.
										8,80	4,00	0,40		
										8,00	7,18	0,45		
										8,45	7,26	0,38		
										7,00	8,78	0,30		
										11,80	8,78	0,30		
										8,29	Porte d'amont 7,64 Intermédiaire 7,07 Antérieure . . 8,18	0,30 0,30 0,28		
			13	13		45			m. 3,88	11,00	8,88	0,43		Portes d'èbe. Portes de flot. Pont mobile.
			14,40	15,22		40					4,78 le rang inf. 8,40 le rang sup.			L'écluse refaite était plus large au haut qu'en bas, et présentait deux étages de portes de flot et d'èbe. Ces dernières étaient de plus secourues par des valets.
			13	15,00		43			3,80	11,00				
			18	Point d'écluse.					Point d'écluse.					
				18,00		60								L'écluse d'entrée de ce bassin dans l'Escaut présente deux paires de portes d'èbe, et un jeu de portes de flot.
				18,05		38								L'écluse intermédiaire aux deux bassins a une paire de portes de flot et une paire de portes d'èbe.
m. 3,278	m. 8,70	m. 1,20		18,80		64								La surface totale de l'enceinte de ces docks, y compris les édifices et rues, est de 8hect.18. Il y a dans les écluses une paire de portes intermédiaires.

INDICATION des ports, bassins de flot, docks et darses.		Dépense de construction des bassins et docks.	Dépense de construction des écluses d'entrée.	Dépense totale de construction.	Longueur moyenne des bassins, docks ou darses.	Largeur moyenne des bassins, docks ou darses.	Superficie approximative de la nappe d'eau.	Développement approximatif des quais accostables.	Navires rangés en deux lignes sur chaque rive. Nombre total que le bassin, dock ou darse, peut contenir simultanément.	Navires rangés en deux lignes sur chaque rive. Tonnage total de ces navires.	Navires rangés en trois lignes sur chaque rive. Nombre total que le bassin, dock ou darse, peut contenir simultanément.	Navires rangés en trois lignes sur chaque rive. Tonnage total de ces navires.	Profondeur de l'eau dans le bassin, dock ou darse, aux moindres hautes mers de morte eau.	Écluse simple. Hauteur de l'eau sur le radier aux moindres hautes mers de morte eau.	Écluse simple. Hauteur de l'eau sur le radier aux pleines mers des vives eaux ordinaires.
					m.	m.	m.q.	m.			bassin.	tonn.			
Docks dits de Londres	Grand dock de l'ouest			fr. 27,000,000 pour docks, édifices et machines.	378	221	10.326	1.200			90				
	Petit dock de l'Est				163	100	13.020	800			27				
	Bassin de l'Hermitage				90	43	4.050	300							
	Wapping bassin				130	81	10.131	480							
	Bassin de l'Est				129	40	5.300	302							
	Docks pour les tabacs				74	45	3.040	168							
							50.122	2 770							
Docks des Indes occidentales	Bassin d'entrée de Lime-House à l'ouest			30,000,000 pour docks, édifices, réservoirs et machines.	90	24	3.004	310							
	Bassin d'entrée de Blackwell à l'Est				223	107	24.190	641							
	Dock d'importations				810	120	101.600	1.090			133	133.000	m. 6,37		
	Dock d'exportations				810	100	87.200	1.830			100		6,47		
	Canal de la Cité ou dock du sud				1113	90	38 000	2.180							
	Dock pour les bois				308	90	54.[illegible]0	2 000							
							300.224	9.041							
Docks des Indes orientales	Bassin d'entrée			18,000,000 pour docks, édifices et machines.	300	73	13.000	803							
	Grand dock d'importations				403	183	71.004	1.330			30		8,00	8,00	m. 7,70
	Petit dock d'exportations				223	150	34.090	680			34				
							117.730	2.343							
Docks du Commerce	Dock no 1, dit du Greenland			10,000,000	290	126	33.340	770							
	Dock no 2				100	40	7.000	013							
	Dock no 3				173	84	24.700	470						6,300	
	Dock no 4				313	129	40 300	784							
	Dock no 5				300	000	00.480	344							
	Dock no 6				370	274	74.033	933							
							233.000	4.020							
Port de Hull, dans la région nord-est de l'Angleterre.															
Docks de Hull.	Bassin d'entrée du vieux dock dans la rivière de Hull				84,3	24,00	1.320								
	Id. du dock nouveau dans la rivière de l'Humber				82,3	20,0	10.770	220							
	Vieux dock de Hull				312,0	77,40	25 100	000			100		4,20		
	Dock du Humber				270,7	104,22	00.010	004			70	33.000	6,90		
	Dock de jonction				196,0	104,00	24.183	073			80		4,30		
							103.253	3.030							

Écluse à sas. Hauteur de l'eau sur le radier au large aux moindres hautes mers de morte eau	Hauteur de l'eau sur le même radier aux pleines mers des vives eaux ordinaires.	Hauteur du mur de chute vers le sas.	Largeur du débouché des écluses simples ou à sas, entre le pied des bajoyers.	entre le bout des bajoyers.	Largeur du sas dans les écluses à sas.	Écluse simple. Longueur de l'écluse de tête en tête.	Écluse à sas. Longueur du sas.	Longueur de l'écluse de tête en tête.	Fermetures avec portes tournantes. Saillie du busc.	Longueur de chaque ventail.	Hauteur des ventaux.	Épaisseur totale des ventaux au milieu de leur longueur. Ventaux en bois.	Ventaux en fonte.	OBSERVATIONS.
....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	
m. 7,87	m. 6,50	....	m. 7,00	m. 12,28	m. 16,21 dans le haut.	....	m. 61	m. 110	m. 2,60	m. 7,00	m. 6,00	m. 0,40	....	La surface totale de l'enceinte, y compris édifices et rues, est de 23 hectares. Les édifices ont cinq étages de hauteur.
[illegible],07	7,80	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	
6,02	7,40	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	
....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	
7,30	8,12	....	....	15,00	....	....	....	....	....	....	....	....	....	
6,77	7,00	....	....	16,00	....	....	....	....	....	....	....	....	....	
....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	La superficie totale de l'enceinte, y compris édifices et rues, est de 30 hectares. Les édifices les plus élevés ont six étages, y compris le rez-de-chaussée.
6,77	7,00	....	....	16,00	....	....	....	....	....	....	....	....	....	
....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	
....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	La superficie totale des surfaces d'eau, y compris les canaux d'entrée, est de 10 hectares trois-cinquièmes.
....	....	....	....	14,40	....	m. 63	....	....	....	....	....	....	....	
6,468	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	L'enceinte totale a 30 hectares, y compris édifices et rues.
....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	
....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	La surface totale des terre-pleins des quais est de 6hect.0. Celle de l'espace occupé par les édifices est de 6hect.00.
4,00	6,00	....	....	11,80	61,00	....	60,00	71,00	....	6,90	7,07	0,30	....	
6,00	7,96	....	....	12,00	18,00	....	48,75	78,00	....	6,85	6,04	0,41	....	
4,90	6,00	....	7,00	11,10	11,10	....	60,00	62,00	2,00	6,00	7,06	0,38	....	

INDICATION des ports, bassins de flot, docks et darses.	Dépense de construction des bassins, docks ou darses.	Dépense de construction des écluses d'entrée.	Dépense totale de construction.	Longueur moyenne des bassins, docks et darses.	Largeur moyenne des bassins, docks et darses.	Superficie approximative de la nappe d'eau.	Développement approximatif des quais accostables.	Navires rangés en deux lignes sur chaque rive. Nombre total que le bassin, dock ou darse, peut contenir simultanément.	Navires rangés en deux lignes sur chaque rive. Tonnage total de ces navires.	Navires rangés en trois lignes sur chaque rive. Nombre total que le bassin, dock ou darse, peut contenir simultanément.	Navires rangés en trois lignes sur chaque rive. Tonnage total de ces navires.	Profondeur de l'eau dans le bassin, dock ou darse, aux moindres hautes mers de morte eau.	Écluse simple. Hauteur de l'eau sur le radier aux moindres hautes mers de morte eau.	Écluse simple. Hauteur de l'eau sur le radier aux pleines mers de vives eaux ordinaires.
Port de Leith en Écosse, sur la côte Est.														
Deuxième bassin de flot.				m. 250	m. 103	m. 28.000	m. 500			50	6.000	m. 5,00		
Port de Dundee en Écosse, sur la côte Est.														
Bassin d'échouage.				008	107	21.078								
Port d'Ardrossan, sur la côte ouest de l'Écosse, près de Glascow.														
Bassin de flot.				300	100	30.000	780			90 à 100	0.884	6,80		
Port de Liverpool sur la côte ouest de l'Angleterre.														
Bassins d'échouage.														
Bassin du Prince.						17.480	468							
Bassin de Seacombe.						1.806	170							
Bassin de Georges.						13.237	510							
Bassin de Georges-Ferry.						2.124	160							
Bassin d'entrée du Canning dock.						6.483	408							
Bassin du Roi et de la Reine.						20.317	848							
Bassin de Brunswich.						10.760	833							
Bassin de South-Ferry.						2.447	137							
						90.647	3008							
Docks de flot et de mi-marée.														
Premier dock.						10.468	370						m. 6,01 entrée O. 8,00 entrée S.	m. 7,40 entrée O. 7,08 entrée S.
Deuxième dock.						7.727	380						0,75	8,17
						18.190	900							
Docks ordinaires.														
Clarence dock.				320	118	38.808	670	40					0,00 entrée O. 0,10 entrée E.	7,80 8,80
Dock nouveau n° 1.				320	100	27.610	874	08						
Dock nouveau n° 2.				088	08	23.007	883	80						
Dock nouveau n° 3, dit de Waterloo.				300	100	02.708	840	20						
Dock du Prince.			p. terrains, fr. 2.300.000 p. travaux, 11.020.000	440	80	10.000	1008	78					6,00 entrée N. 6,00 entrée S.	7,50 entrée N. 7,40 entrée S.
Dock de Georges.			000,000 pour le dock.	010	00	30.308	080	20					0,05 entrée N. 0,00 entrée S.	8,88 entrée N. 0,00 entrée S.
Dock de Canning.				170	100	13.000	488	13						
Dock de Salthouse.				010	00	10.018	608	30					0,00	0,88
Dock du Roi.				030	110	21.108	781	30					0,88	0,88
A reporter.						020 878	0007	034						

Ecluse à sas. Hauteur de l'eau sur le radier ou largeur aux moindres hautes mers de morte eau.	Ecluse à sas. Hauteur de l'eau sur le même radier aux pleines mers des vives eaux ordinaires.	Ecluse à sas. Hauteur du mur de chute vers le sas.	Largeur du débouché des écluses simples ou à sas entre le pied des bajoyers.	Largeur du débouché des écluses simples ou à sas entre le haut des bajoyers.	Largeur du sas dans les écluses à sas.	Ecluse simple. Longueur de l'écluse de tête en tête.	Ecluse à sas. Longueur du sas.	Ecluse à sas. Longueur de l'écluse de tête en tête.	Fermetures avec portes tournantes. Saillie du busc.	Fermetures avec portes tournantes. Longueur de chaque ventail.	Fermetures avec portes tournantes. Hauteur des ventaux.	Epaisseur totale des ventaux au milieu de leur longueur. Ventaux en bois.	Epaisseur totale des ventaux au milieu de leur longueur. Ventaux en fonte.	OBSERVATIONS.
...	...	...	...	m. 12,87										
...	...	...	...	13,00										
...	...	...	...	12,90										
...	...	...	...	12,50										
...	...	...	...	14,84										
...	...	...	...	15,84										
...	...	...	...	13,73										
...	...	...	...	13,73										
...	...	...	...	12,50										
...	...	...	...	21,08	...	...	...	...	...	...	mèt. 7,33			
...	...	...	...	10,18	...	...	...	...	...	...	7,02			
...	...	...	...	13,33	...	...	...	...	...	...	7,03			

INDICATION des ports, bassins de flot, docks et darses.	Dépense de construction des bassins, docks ou darses.	Dépense de construction des maisons d'entrée.	Dépense totale de construction.	Longueur moyenne des bassins, docks et darses.	Largeur moyenne des bassins, docks et darses.	Superficie approximative de la nappe d'eau.	Développement approximatif des quais accostables.	Navires rangés en deux lignes sur chaque rive. Nombre total que le bassin, dock ou darse, peut contenir simultanément.	Tonnage total de ces navires.	Navires rangés en trois lignes sur chaque rive. Nombre total que le bassin, dock ou darse, peut contenir simultanément.	Tonnage total de ces navires.	Profondeur de l'eau dans le bassin, dock ou darse, aux moindres hautes mers de morte eau.	Écluse simple. Hauteur de l'eau sur le radier aux moindres hautes mers de morte eau.	Écluse simple. Hauteur de l'eau sur le radier aux pleines mers de vives eaux ordinaires.
				m.	m.	m.q.	m.q.						m.	m.
Report.						026.003	0,007	044						
Dock de la Reine.				400	100	42.007	800	66					0,78 entrée N. 0,10 entrée S.	0,10 entrée N. 0,00 entrée S.
Dock de Brunswick.				500	100	50.000	010	60					0,87	0,97
						020.038	7000	400	103200					
Port de Bristol sur la côte sud-ouest de l'Angleterre.														
Bassin de Cumberland.				010	00	10.900	400			04		m. 0,20	4,00	10,10
Bassin de flot.				140	90	11.990	490	04				0 00 réduit à 0 m. par la vase.		
Bassin de Bathurst.				110	70	7.700	300	10						
Bassin de flot nº 1.				700	40	28.000	1400	34						
Bassin de flot nº 0.				0800	40	85.000	4400	100						
Bassin de flot nº 0.				1000	20	120.000	3000	70						
						770.000	10,000	040		04				
Port militaire de Portsmouth.														
Premier bassin de flot ancien, fermé par un bateau-porte.				70	40	8.000	340							
Deuxième bassin nouveau, fermé par un bateau-porte.				114	80	0.120	000							
Port militaire de Plymouth.														
Bassin de l'ouest.				00	84	4.800	008							
Ports de l'Océan en France.														
Port de Dunkerque.														
Bassin de flot pour la marine militaire.				300	100	90.000	700					4,27	4,27	6,57
Port de Calais.														
Bassin de Paradis non éclusé.				100	00	0.008	360							
Nouveau bassin de flot en exécution.			0.000.000 dépense estimée.	000	70	10.000	010							
Le Tréport.														
Bassin de flot en exécution.						10.000								
Port de Dieppe.														
Bassin de flot.				020	110	90.024	900	00 grands navires.						
Port de Saint-Valery-en-Caux.														
Bassin de flot nouveau.														
Port de Fécamp.														
Bassin de flot nouveau.				012	81	90.788	806							
Port du Havre.														
Avant-port d'échouage.				380	00	96.000	1800			900 caboteurs.				
Port d'échouage ancien.				800	180									
Port d'échouage nouveau au sud.				000	100									

… Écluse à sas.			Largeur du débouché des écluses simples ou à sas		Largeur du sas dans les écluses à sas.	Écluse simple.	Écluse à sas.		Fermeture avec portes tournantes.			Épaisseur totale des ventaux en milieu de leur longueur.		OBSERVATIONS.
Hauteur de l'eau sur le radier en large aux moindres hautes mers de morte eau.	Hauteur de l'eau sur le même radier aux pleines mers de vives eaux ordinaires.	Hauteur du mur de chute vers le sas.	entre le pied des bajoyers.	entre le haut des bajoyers.		Longueur de l'écluse de tête en tête.	Longueur du sas.	Longueur de l'écluse de tête en tête.	Saillie du busc.	Longueur de chaque ventail.	Hauteur des ventaux.	Ventaux en bois.	Ventaux en fonte.	
……	……	……	……	m. 12,80										
……	……	……	……	12,50										
……	……	……	……	12,80										
……	……	……	m. 11,10	13,70 Bief de droite.	……	m. 97 38	……	……	……	m. 0,80	m. 6,60	m. 0,90		
……	……	……	8,10	10,70 Bief de gauche.										
……	……	……	13,46	10,00	……	80 envir.	……	……	……	……	7,80	0,08	……	Les portes d'èbe sont munies de valets pour fonctionner comme portes de flot.
……	……	……	……	18,00	……	48 envir.								
……	……	……	……	9,00										
……	……	……	……	14,00	……	80 envir.								
……	……	……	……	9,35										
……	……	……	……	60,00										

INDICATION des ports, bassins de flot, docks et darses.	Dépense de construction des bassins, docks ou darses.	Dépense de construction des écluses d'entrée.	Dépense totale de construction.	Longueur moyenne des bassins, docks ou darses.	Largeur moyenne des bassins, docks ou darses.	Superficie approximative de la nappe d'eau.	Développement approximatif des quais accostables.	Navires rangés en deux lignes sur chaque rive. Nombre total que le bassin, dock ou darse, peut contenir simultanément.	Navires rangés en deux lignes sur chaque rive. Tonnage total de ces navires.	Navires rangés en trois lignes sur chaque rive. Nombre total que le bassin, dock ou darse, peut contenir simultanément.	Navires rangés en trois lignes sur chaque rive. Tonnage total de ces navires.	Profondeur de l'eau dans le bassin, dock ou darse, aux moindres hautes mers de morte eau.
	fr.	fr.	fr.	m.	m.	m.q.	m.		tonn.	navir.	tonn.	m.
Bassin du Roi.	1.044.000	4.444.000	8.088.000	180	80	18.000	488	90	9.000	....	.....	4,80
Bassin de la Barre.	8 849.000	2.100.000	7.371.000	490	110,40	49 700	1100	90	80.000	....	.....	4,20
Bassin du Commerce.	3.267.400	1.440.000 pour deux écluses.	4.709.400	880	100	88.000	1000	100	40.000	....	.....	4,00
Bassin de Vauban, dont l'élargissement est en exécution.	861.000	888.980	1.417.030	780	100	70.000	1800	180	67.800	....	.....	8,70
Port de Honfleur.												
Vieux bassin.	......	......	......	180	78	8.780	888	....	....	....	.....	....
Bassin neuf.	......	......	......	180	90	18.000	870	....	....	....	.....	....
Troisième bassin en construction.	......	......	......	440	90	7.000	888	48	....	....	.....	....
Sas d'Ostaganem à l'embouchure de la rivière de Caen.	......	......	......	....	....	......	......	....	....	....	.....	....
Port de Cherbourg.												
Nouvel arsenal militaire.		......	10.918.000	880	830	64.400	480	88 vaisseaux du 1er rang debout aux quais sur une seule ligne.	91.000	....	.....	10,07
Bassin de flot exécuté.	4.070.870	Grande écluse and 000.047	5.018.400	870	830	80.100	910	Idem.	....	....	.....	10,07
Arrière-bassin de flot en exécution.	évalué 14.000.000	8 écluses évaluées ensemble 8.100.000	évalué 18.100.000	400	800	80,000	740	88 vaisseaux de 1er rang debout aux quais sur une seule ligne.	....	....	.....	10,07
Port de commerce de Cherbourg.												
Avant-port agrandi.	......	......	......	300	184	67.080	480 actuellt, 720 ultérieurement.	....	....	180	12.000	
Bassin de flot.	......	......	......	400	187	81.800	818	....	....	140	78.000	3,17
Ports de Saint-Malo et Saint-Servan.												
Grand bassin de flot en exécution. — Première zone pour bâtiments de guerre.	......	......	Dépense évaluée à 8.870.000 pour l'exécution.	700	180	108.000	790	88 vaisseaux de 90 canons.	41.000	....	.....	7,00
Grand bassin de flot en exécution. — Deuxième zone pour forts navires de la marine.	......	......		1800	80	144.000	1800	88 navires sur une ligne, 106 navires sur deux lignes.	....	....	.....	8,00
Grand bassin de flot en exécution. — Troisième zone pour bâtiments de rang inférieur.	......	......		4000	1001	1.001.500	......	....	....	....	.....	de 8,81 à 8,00
Port de commerce de Lorient.												
Bassin de flot en exécution.	......	......	......	800	97	87,000	980	....	....	....	.....	....

Écluse simple. Hauteur de l'eau sur le radier aux moindres hautes mers de morte eau.	Écluse simple. Hauteur de l'eau sur le radier aux plus hautes mers de vive eau ordinaires.	Écluse à sas. Hauteur de l'eau sur le radier du large aux moindres hautes mers de morte eau.	Écluse à sas. Hauteur de l'eau sur le même radier aux plus hautes mers de vive eau ordinaires.	Écluse à sas. Hauteur du mur de chute vers le sas.	Largeur de débouché des écluses simples ou à sas, entre le pied des bajoyers.	Largeur de débouché des écluses simples ou à sas, entre le haut des bajoyers.	Largeur du sas dans les écluses à sas.	Écluse simple. Longueur de l'écluse de tête en tête.	Écluse à sas. Longueur du sas.	Écluse à sas. Longueur de l'écluse de tête en tête.	Fermetures avec portes tournantes. Saillie du busc.	Fermetures avec portes tournantes. Longueur de chaque ventail.	Fermetures avec portes tournantes. Hauteur des ventaux.	Épaisseur totale des ventaux au milieu de leur longueur. Ventaux en bois.	Épaisseur totale des ventaux au milieu de leur longueur. Ventaux en fonte.	OBSERVATIONS.
m. 4,20	m. 0,70	m.	m.	m.	m. 10,10	m. 10,00	m.	m. 40,10	m.	m.	m. 8,00 saillie moyen	m. 10,70 le plus long. 9,20 le plus court.	m. 7,30	m. 0,60 le plus long. 0,40 le plus court.		
3,00	0,70				11,70	10,00		00,00			0,20	7,00	7,70	0,60		
4,10 Écluse de l'Est.	0,00 Écluse de l'Est.				11,00	10,08		00,00			0,10	0,00	7,00			
4,00 Écluse du Sud.	0,00 Écluse du Sud.				11,00	11,00		02,00			0,10	0,00	7,00			
0,70	0,20				10,00	10,00		41,70			0,40	7,00	7,30			Cette écluse a deux jeux de portes placés en sens inverse.
						10,00		10,00								
						12,00		80 environ.								
								80 environ.								Écluse avec portes d'èbe et de flot.
						10,00	60		70							Ce sas est destiné à recevoir 8 navires à la fois.
Passe	d'entrée.															
0,00	10,06					80,00										
0,20	10,06				17,860	17,00		41,00			0,00	10,38	11,00	0,00		Écluse avec pont tournant pour portes de flot et pour portes d'èbe accorées par des valets.
0,00	10,06				81,00 projetés	81,00 projetés	100,00		encore indéterminée.							Chaque écluse aura deux ponts tournants et deux jeux de portes.
0,17	0,00					10 00		00,00			0,00	7,00	0,76	0,48	0,80 dans les nouveaux châssis de fonte.	Écluse avec simples portes d'èbe et pont tournant. Dans les gros temps il pourrait y avoir dans le bassin de flot 700 bâtiments ayant en tout 35,000 tonneaux.
		0,00	0,70	1,20		17,00	72		78	160 environ.						Le sas éclusé aura double jeu de portes d'èbe et de flot aux deux têtes, et deux ponts tournants. Le sas doit contenir 8 frégates ou 10 bâtiments ordinaires.
0,00	4,00					10,00										

INDICATION des ports, bassins de flot, docks et darses.	Dépense de construction des bassins, docks ou darses.	Dépense de construction des écluses d'entrée.	Dépense totale de construction.	Longueur moyenne des bassins, docks et darses.	Largeur moyenne des bassins, docks et darses.	Superficie approximative de la nappe d'eau.	Développement approximatif des quais accostables.	Navires rangés en deux lignes sur chaque rive. Nombre total que le bassin, dock ou darse, peut contenir simultanément.	Navires rangés en deux lignes sur chaque rive. Tonnage total de ces navires.	Navires rangés en trois lignes sur chaque rive. Nombre total que le bassin, dock ou darse, peut contenir simultanément.	Navires rangés en trois lignes sur chaque rive. Tonnage total de ces navires.	Profondeur de l'eau dans le bassin, dock ou darse, aux moindres hautes mers de morte eau.	Écluse simple. Hauteur de l'eau sur le radier aux moindres hautes mers de morte eau.	Écluse simple. Hauteur de l'eau sur le radier aux pleines mers des vives eaux ordinaires.
Port du Palais à Belle-Isle en mer.														
Premier bassin de flot.				m. 200	m. 60	m.q. 9.000	m. 186						m. 0,09	m. 4,60
Deuxième bassin de flot de carénage, dit la Saline.				246	50	10.090							0,80	4,80
Port du Croisic.														
Premier bassin non éclusé.														
Deuxième bassin.						83.000	1800			860	80,000			
Troisième bassin pour les bâtiments à sel.						16.000								
Port de La Rochelle.														
Havre de La Rochelle.				800	120	90.000	780							
Bassin de flot.				120	120	11.400	440	30 de bord à quai ou 45 sur 2 lignes.	1800 / 6006					
Port de Saint-Martin à l'île de Ré.														
Bassin de flot en exécution.						10.000								
Darses dans les ports sans marées hors France.														
Port du Ferrol en Espagne, dans l'Océan.														
Première darse à l'entrée, à l'ouest.				300	364,40	109.260	1020					m. de 7 à 10,55		
Deuxième darse à l'Est.				610	806	180.500	1600					de 8,80 à 9,10		
Port de Carthagène en Espagne, sur la Méditerranée.														
Darse.				400	260,7	100.410	751					de 8,66 à 9,60		
Port de Nice en Piémont.														
Avant-port et darse.				300	122,7	31.00	680							
Port de Gênes.														
Première darse.				110	90	9.000	370							
Deuxième darse.				200	120	24.000	440							
Port projeté à la Spezzia.														
Anse ou darse des Grâces.				800	500	274.200	1840							
Anse ou darse de Varignano.				350	180	86.000	860							

Ecluse à sas.			Largeur du débouché des écluses simples ou à sas, ou des passes.		Largeur du sas dans les écluses à sas.	Ecluse simple.	Ecluse à sas.		Fermetures avec portes tournantes.			Epaisseur totale des ventaux au milieu de leur longueur.		OBSERVATIONS.
Hauteur de l'eau sur le radier au large aux moindres hautes mers de morte eau.	Hauteur de l'eau sur le même radier aux pleines mers de vives eaux ordinaires.	Hauteur du mur de chute vers le sas.	entre le pied des bajoyers.	entre le haut des bajoyers.		Longueur de l'écluse de tête en tête.	Longueur du sas.	Longueur de l'écluse de tête en tête.	Saillie du busc.	Longueur de chaque ventail.	Hauteur des ventaux.	Ventaux en bois.	Ventaux en fonte.	
……	……	……	……	m. 10,60										
……	……	……	……	10,80										
……	……	……	……	10,00										
……	……	……	……	10,00										
			Passe d'entrée.											
……	……	……	154,00											
……	……	……	108,00											
……	……	……	78,00											
……	……	……	48,00											
……	……	……	28,00											
……	……	……	10,00											
……	……	……	280,00											
……	……	……	190,00											

INDICATION des ports, bassins de flot, docks et darses.	Dépense de construction des bassins, docks ou darses.	Dépense de construction des écluses d'entrée.	Dépense totale de construction.	Longueur moyenne des bassins, docks et darses.	Largeur moyenne des bassins, docks et darses.	Superficie approximative de la nappe d'eau.	Développement approximatif des quais accostables.	Navires rangés en deux lignes sur chaque rive. Nombre total que le bassin, dock ou darse, peut contenir simultanément.	Navires rangés en deux lignes sur chaque rive. Tonnage total de ces navires.	Navires rangés en trois lignes sur chaque rive. Nombre total que le bassin, dock ou darse, peut contenir simultanément.	Navires rangés en trois lignes sur chaque rive. Tonnage total de ces navires.	Profondeur de l'eau dans le bassin, dock ou darse, aux moindres hautes mers de morte eau.	Écluse simple. Hauteur de l'eau sur le radier aux moindres hautes mers de morte eau.	Écluse simple. Hauteur de l'eau sur le radier aux pleines mers des vives eaux ordinaires.
Port de Livourne.														
Première darse à l'entrée, au nord.	....	....	....	m. 242	m. 133	m.q. 30.750	m. 333	navires. 23	....	....	....	m. 3,86 à 4,33	....	....
Deuxième darse au sud.	....	....	....	330	100	33.300	563	27	....	....	....	3,30 à 4,43	....	....
Port de Civita-Vecchia.														
Darse unique au nord.	....	....	....	200 envir.	130	30.000	600							
Port de Venise.														
Darse Novissima-Grande.	....	....	....	350	140	40.633	1,170	....	....	....	....	4,13	....	....
Port de Trieste.														
Darse de la Villa.	....	....	....	93	40	4.010	320	....	....	....	....	6,50	....	....
Darse du Lazareth.	....	....	....	310	170	63.850	690	....	....	....	....	4,60	....	....
Darses et ports sans marées en France.														
Port-Vendres sur la côte ouest de la Méditerranée.														
Première darse pour le commerce.	....	....	....	307	150	43.000	730	....	....	....	....	....	....	....
Deuxième darse.	....	....	....	115	90	12.350	600	....	....	....	....	....	....	....
Troisième darse pour quarantaine.	....	....	....	73	30	2.700	290	....	....	....	....	....	....	....
Quatrième darse projetée pour port militaire.	....	....	....	325	170	60.373	373	....	....	....	....	....	....	....
Port de Marseille.														
Darse principale.	....	....	....	663	300	270.000	1,730	....	....	nav. 200	....	....	....	....
Port militaire de Toulon														
Darse vieille.	....	....	....	411	320	133.320	1,298	....	....	....	....	....	....	....
Darse neuve.	....	....	....	500	400	200.000	1,300	....	....	....	....	....	....	....
Port de commerce de Toulon.														
Nouvelle darse de la Rode en exécution.	....	....	....	....	....	35.000	290	....	....	....	....	m. 4		
Port de Saint-Tropez.														
Darse.	....	....	....	....	....	40.600	671	....	....	30				
Port d'Antibes.														
Darse d'Antibes.	....	....	....	....	....	42.000	634	....	....	100				

Écluse à sas.			Largeur du débouché des écluses simples ou à sas ou des passes.			Écluse simple.	Écluse à sas.		Fermetures avec portes tournantes.			Épaisseur totale des ventaux au milieu de leur longueur.		
Hauteur de l'eau dans le radier au large aux moindres hautes mers de morte eau.	Hauteur de l'eau sur le même radier aux pleines mers des vives eaux ordinaires.	Hauteur du mur de chute vers le sas.	entre le pied des bajoyers.	entre le haut des bajoyers.	Largeur du sas dans les écluses à sas.	Longueur de l'écluse de tête en tête.	Longueur du sas.	Longueur de l'écluse de tête en tête.	Saillie du busc.	Longueur de chaque ventail.	Hauteur des ventaux.	Ventaux en bois.	Ventaux en fonte.	OBSERVATIONS.
....	....	....	m. 70											
....	....	....	30											
....	....	....	14,80 Passe vers l'arsenal neuf. 21,00 Passe vers le canal dei Virgini.		....	....	....	....	....	....	....	....	....	Les célèbres cales couvertes de construction et de dépôt, se trouvent sur les rives de cette darse.
....	....	....	16											
....	....	....	14											
			Passes.											
....	....	....	180											
....	....	....	120											
....	....	....	18											
....	....	....	100											
....	....	....	80											
....	....	....	30											
....	....	....	30											



APPENDICE N° 1.

Table dressée et communiquée par M. de Saint-Guilhem, Ingénieur des ponts et chaussées, pour calculer la forme du remous d'une rivière occasionné par un barrage établi en travers de son lit, d'après la formule

$$\left(\frac{y+px}{H}\right)^3-\left(\frac{px}{H}\right)^3=\frac{1}{1+\frac{4}{9}H\left(\frac{px}{H}\right)^2}$$

citée à la 26e leçon, page 50 du tome II du Programme.

p pente primitive par mètre de la rivière.
H exhaussement de la surface de l'eau au point où est le barrage.
x distance horizontale en mètres d'un point de la courbe du remous au barrage.
y gonflement de l'eau en mètres en ce point au-dessus du niveau primitif de l'eau.

Les valeurs de $\frac{px}{H}$ étant :	Exhaussement de la surface de l'eau au-dessus du niveau primitif à la distance x du barrage. Les valeurs de H étant :														
	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
0,10	0,45	0,68	0,90	1,13	1,37	1,58	1,80	2,13	2,25	2,48	2,76	2,95	3,17	3,39	3,60
0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,22	1,40	1,60	1,90	2,01	2,21	2,45	2,60	2,81	3,00	3,20
0,30	0,35	0,53	0,70	0,88	1,07	1,23	1,40	1,68	1,77	1,95	2,16	2,28	2,48	2,63	2,80
0,40	0,31	0,46	0,62	0,77	0,93	1,08	1,24	1,46	1,55	1,71	1,89	2,00	2,17	2,29	2,44
0,50	0,27	0,40	0,54	0,67	0,79	0,93	1,08	1,25	1,33	1,47	1,62	1,72	1,86	1,95	2,10
0,60	0,23	0,34	0,46	0,58	0,67	0,79	0,92	1,04	1,12	1,24	1,35	1,44	1,55	1,61	1,76
0,70	0,20	0,29	0,39	0,49	0,56	0,65	0,76	0,84	0,92	1,01	1,09	1,16	1,24	1,28	1,42
0,80	0,17	0,24	0,32	0,40	0,45	0,52	0,60	0,64	0,72	0,78	0,83	0,89	0,95	0,98	1,10
0,90	0,14	0,19	0,25	0,31	0,35	0,40	0,44	0,47	0,53	0,55	0,59	0,62	0,68	0,69	0,79
1,00	0,11	0,15	0,19	0,23	0,25	0,28	0,30	0,33	0,35	0,36	0,38	0,39	0,41	0,41	0,49
1,10	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,18	0,19	0,21	0,22	0,22	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25
1,20	0,07	0,07	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14
1,30	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
1,40	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
1,50	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03

APPENDICE N° 2.

Traduction d'un Mémoire publié par M. Barlow, ingénieur civil en Angleterre, dans les Transactions de l'institution des ingénieurs civils de la Grande-Bretagne (année 1836).

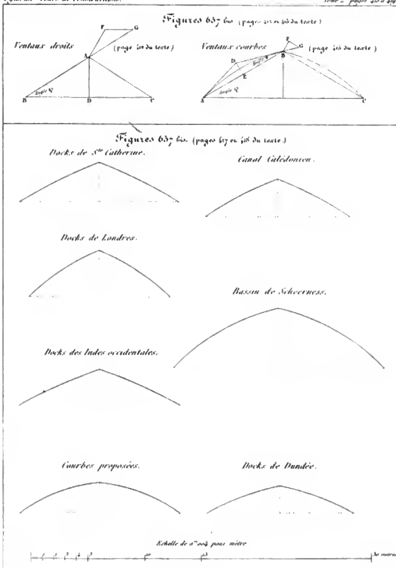
Dans ces dernières années, des portes d'écluse de grande dimension ont été exécutées en Angleterre en forme curviligne, dans le but d'augmenter leur force; l'objet principal de ce mémoire est de faire connaître le degré d'importance de cette amélioration. Mais avant, il est nécessaire d'apprécier les efforts auxquels sont soumises les portes planes ordinaires.

La recherche de l'angle le plus convenable pour le busc des ventaux des portes d'écluses planes et en bois a occupé quelques mathématiciens; mais celles de leurs investigations qui sont parvenues à la connaissance du public ont paru reposer sur des bases erronées.

Un ventail de porte ordinaire busquée est exposé à deux efforts; l'un est transversal à la longueur et provient de la poussée normale de l'eau; il est égal à la moitié de cette poussée appliquée au milieu du venteau. L'autre effort est longitudinal, et il est produit par la pression du second ventail. Si l'angle du busc était de 45°, c'est-à-dire si les ventaux étaient perpendiculaires l'un à l'autre, cette pression serait égale au plus à la moitié de la poussée sur le deuxième ventail; ainsi, avec cette même saillie de busc, le premier ventail aurait à supporter dans le sens de sa longueur un effort équivalent à celui qu'il supporte déjà transversalement à cette longueur.

Avant de rechercher l'angle qui, pour des dimensions déterminées des bois des ventaux, leur procurerait la plus grande force; il faut calculer quel serait l'effort additionnel à joindre à l'effort normal à la longueur, et qui équivaudrait, pour les effets de flexion et de rupture, à l'effort longitudinal. Des expériences spéciales seraient nécessaires pour en obtenir une évaluation précise; mais ces expériences seraient difficiles et leurs résultats douteux. On y suppléera avec une approximation suffisante, en recourant aux expériences de M. Girard faites sur une grande

APPENDICE N°2.



échelle par ordre du gouvernement français. Malgré quelques anomalies qu'elles présentent, elles sont aussi exactes que le permet la nature de ce genre de recherches.

Le tableau ci-dessous n° 1 présente : 1° un extrait des expériences sur la force du chêne chargé debout; 2° les poids que les mêmes pièces pourraient porter transversalement dans leur milieu. Ces poids ont été calculés d'après les règles données par l'ouvrage de Barlow sur les bois; on pourra comparer ainsi les résistances du bois dans ces deux espèces d'efforts. Les bois expérimentés par M. Girard n'ont pas été toujours rompus, mais les poids comprimés étaient évidemment peu différents de ceux qui auraient déterminé la rupture.

TABLEAU N° 1.

OBSERVATIONS.	NUMÉROS des épreuves.	DIMENSIONS DES BOIS.			POIDS en kilogrammes, dont la pièce a été chargée longitudinalement.	POIDS en kilogrammes que la même pièce eût supporté transversalement.	RAPPORT de ces deux poids.
		Longueur.	Largeur.	Épaisseur.			
		m.	m.	m.	kil.	kil.	m.
Pièce rompue des expériences de M. Girard.	1	2,40	0,155	0,125	42 408	3 845	0,092
Id.	2	2,40	0,159	0,104	42.615	2.752	0,064
Id.	3	2,60	0,155	0,100	31.632	2.441	0,078
Id.	4	2,40	0,131	0,097	22.887	1.959	0,085
Id.	5	2,60	0,129	0,104	22.933	2.219	0,097
Id.	6	2.26	0,150	0,129	52 255	[illegible]	0,087
Id.	7	2.26	0,155	0,125	4 702	446	0.095
Id.	8	2,26	0,153	0,102	33.111	2.896	0,087
Id.	9	2,26	0,165	0,100	26.690	2.869	0,100
Id.	10	2,26	0,124	0,100	20.318	2.229	0,109
Id	11	1,94	0,163	0,131	39.636	5.600	0,141
Id.	12	1,94	0,155	0,129	39.604	5 441	0,136
Id.	13	1,94	0,155	0,100	34.442	3.366	0,085
Id	14	1,94	0,157	0,100	32.987	3 311	0,100
Id.	15	1,941	0,131	0,104	46.939	2 955	0,063
Id.	16	1,941	0,124	0,101	37.269	3.021	0,081
Id.	17	2,260	0,155	0,106	39.611	3 180	0,080
Id.	18	2,60	0,155	0,133	37.294	4.350	0,116
Id.	19	2,60	0,155	0,129	47 049	4.072	0,087
Id.	20	2,60	0,184	0,155	62.497	7.058	0,113
Id.	21	2.60	0,186	0,155	62.432	7.059	0,114
		»	»	»	»	Moyenne.	0,0096 ou 0m,10

On voit que l'effort additionnel est égal au $\frac{1}{10}$ environ de l'effort longitudinal

auquel il équivaudrait. Cependant l'on pourrait objecter que l'effort longitudinal dû à la pression des deux ventaux agit sur une pièce déjà légèrement infléchie par une pression transversale, ce qui n'est pas le cas des pièces du tableau ci-dessus. Mais comme cette flèche préalable est à peine la centième partie de la longueur, on ne pense pas qu'elle puisse avoir une influence marquée sur les rapports trouvés ci-dessus; et l'on persistera à considérer la dixième partie de l'effort longitudinal comme lui étant équivalente, quand elle sera appliquée transversalement au milieu de la longueur des ventaux.

Il s'agit maintenant de trouver l'expression générale des efforts pour une saillie quelconque du busc.

Figures de la planche ci-contre.

Soient AB, AC les deux ventaux; A le busc; soit BD la demi-largeur de l'écluse représentée par l; soit φ l'angle ABD de la saillie du busc; ω la poussée de l'eau pour la longueur e.

On aura $AB = l$ séc. φ; et la poussée sur $AB = \omega$ séc. φ; l'effort transversal produit par la poussée au milieu du ventail sera $\frac{1}{2}\omega$ séc. φ, auquel il faut ajouter le poids additionnel représentant la pression du ventail opposé.

Soit représentée par AF la force normale AC, qui tend à faire tourner le ventail AC autour du point C, et qui est égale à $\frac{1}{2}\omega$ séc. φ.

Si on la décompose au point A en deux autres; l'une AG dans le prolongement de AB, et l'autre FG parallèle à BC; AG représentera l'effort longitudinal sur AB; et FG sera détruit par la force analogue provenant de la pression de AB sur AC. On connaîtra AG par la proportion :

$$\text{sin. AGF} : \text{AF} :: \text{sin. AFG} : \text{AG}. \quad \text{ou} \quad \text{sin.}\,\varphi : \frac{1}{2}\omega\,\text{séc.}\,\varphi :: \text{cos.}\,\varphi : \text{AG};$$

donc

$$\text{AG} = \frac{1}{2}\omega\,\text{séc.}\,\varphi . \frac{\text{cos.}\,\varphi}{\text{sin.}\,\varphi} = \frac{1}{2}\omega\,\text{coséc.}\,\varphi,$$

dont il faut prendre la dixième partie pour l'ajouter à l'effort transversal $\frac{1}{2}\omega$ séc. φ.

L'effort transversal total sera donc

$$\frac{1}{2}\omega\,\text{séc.}\,\varphi + \frac{1}{10}\times\frac{1}{2}\omega\,\text{coséc.}\,\varphi.$$

Pour que cet effort soit un minimum, il faut différentier par rapport à φ, et l'on a

$$\text{tang.}\,\varphi\ \text{sécant.}\,\varphi\, d\varphi - \frac{1}{10}\omega\ \text{cot.}\,\varphi\ \text{coséc.}\,\varphi\, d\varphi = 0,$$

d'où

$$\text{tang.}\,\varphi = \frac{1}{10}\,\text{cotang.}\,\varphi, \quad \text{tang.}^2\varphi = \frac{1}{10}, \quad \text{tang.}\,\varphi = \text{tang.}\,24°\,54'$$

Mais il ne suffit pas que les efforts exercés soient les moindres que possible; il faut encore que la longueur du ventail qui varie en raison directe de séc. φ soit un minimum. L'angle de $24°\,54'$ trouvé ci-dessus n'est donc pas celui qui, pour une section déterminée de bois, correspondrait à la plus grande résistance des ventaux. Car les ventaux, par une plus grande longueur, seraient moins susceptibles de résister qu'avec un angle φ différent du précédent, et qui n'augmenterait que légèrement les efforts. C'est donc le produit composé

$$l\,\text{séc.}\,\varphi\left(\text{séc.}\,\varphi + \frac{1}{10}\,\text{coséc.}\,\varphi\right)\frac{\omega}{2}$$

qui doit être un minimum; en différentiant on trouve

$$2\,\text{séc.}^2\varphi\ \text{tang.}\,\varphi\, d\varphi + \frac{1}{10}(\text{tang.}\,\varphi\ \text{séc.}\,\varphi\ \text{coséc.}\,\varphi - \text{cot.}\,\varphi\ \text{coséc.}\,\varphi\ \text{sec.}\,\varphi\ d\varphi = 0$$

et

$$2\,\text{séc.}\,\varphi\ \text{tang.}\,\varphi + \frac{1}{10}\,\text{tang.}\,\varphi\ \text{coséc.}\,\varphi = \frac{1}{10}\,\text{cot.}\,\varphi\ \text{coséc.}\,\varphi,$$

ou :

$$2\,\text{séc.}\,\varphi\ \text{tang.}^2\varphi + \frac{1}{10}\,\text{tang.}^2\varphi\ \text{coséc.}\,\varphi = \frac{1}{10}\,\text{coséc.}\,\varphi,$$

enfin

$$\text{tang.}^3\varphi + \frac{1}{20}\,\text{tang.}^2\varphi = \frac{1}{20}.$$

Ce qui donne

$$\text{tang.}\,\varphi = 0{,}25701 \quad \text{et} \quad \varphi = 19°25'$$

Ayant ainsi obtenu φ d'une manière qu'on croit satisfaisante, on a dressé le tableau n° 2 des dimensions nécessaires au bois de chêne pour ventaux de portes dont la longueur varierait de $1^m{,}80$ à 6 mètres; et la profondeur d'eau de $2^m{,}40$ à 6 mètres, qui sont les limites des dimensions des portes planes droites.

La première colonne de ce tableau indique l'effort transversal total produit par la poussée de l'eau sur les $0^m{,}90$ (3 pieds anglais) de hauteur de la surface, qui

représente les entr'axes ordinaires des entretoises pour l'angle du busc de 19°,24' trouvé ci-dessus. La seconde colonne donne les dimensions du chêne équarri susceptible de supporter un effort triple du précédent.

En faisant usage de cette table pour calculer les dimensions des bois des parties les plus basses des ventaux, il faudra observer que le seuil des portes soulage ces zones inférieures, et qu'on peut avec sûreté adopter pour elles des dimensions inférieures à celles de la table. Toutefois l'influence du seuil ne remonte pas plus haut que la deuxième entretoise en partant du fond; parce qu'au delà la flexion des bois rendrait tout son effet à la poussée de l'eau.

TABLEAU N° 2.

Longueur des ventaux.	1m,80 de profondeur.		2m,40 de profondeur.		3 mètres de profondeur.		3m,60 de profondeur.		4m,20 de profondeur.		4m,80 de profondeur.		5m,40 de profondeur.		6 mètres de profondeur.	
	Effort dû à la poussée sur 0m,90 de surface.	Dimensions du bois équarri nécessaires pour supporter un effort triple.	Effort dû à la poussée sur 0m,90 de surface.	Dimensions du bois équarri nécessaires pour supporter un effort triple.	Effort dû à la poussée sur 0m,90 de surface.	Dimensions du bois équarri nécessaires pour supporter un effort triple.	Effort dû à la poussée sur 0m,90 de surface.	Dimensions du bois équarri nécessaires pour supporter un effort triple.	Effort dû à la poussée sur 0m,90 de surface.	Dimensions du bois équarri nécessaires pour supporter un effort triple.	Effort dû à la poussée sur 0m,90 de surface.	Dimensions du bois équarri nécessaires pour supporter un effort triple.	Effort dû à la poussée sur 0m,90 de surface.	Dimensions du bois équarri nécessaires pour supporter un effort triple.	Effort dû à la poussée sur 0m,90 de surface.	Dimensions du bois équarri nécessaires pour supporter un effort triple.
m.	kil.	m.	kil.	m.	kil.	m.	kil.	m.	kil.	m.	kil.	m.	kil.	m.	kil.	m.
1,50	1.601	0,121	2.134	0,134	2.668	0,144	3.202	0,153	3.735	0,161	4.269	0,168	4.803	0,175	5.336	0,181
1,80	1.921	0,137	2.561	0,151	3.201	0,163	3.842	0,173	4.482	0,182	5.123	0,190	5.163	0,198	6.403	0,205
2,10	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,167	3.735	0,180	4.483	0,192	5.229	0,202	5.976	0,211	6.724	0,219	7.470	0,227
2,40	2.561	0,166	3.414	0,183	4.268	0,197	5.123	0,210	5.976	0,221	6.831	0,231	7.685	0,240	8.538	0,248
2,70	2.882	0,180	3.841	0,198	4.802	0,213	5.763	0,227	6.723	0,239	7.684	0,249	8.645	0,260	9.600	0,269
3,00	3.202	0,193	4.268	0,212	5.336	0,229	6.404	0,243	7.470	0,256	8.538	0,268	9.606	0,278	10.672	0,288
3,30	3.522	0,206	4.695	0,226	5.869	0,244	7.044	0,259	8.217	0,273	9.392	0,285	10.566	0,297	11.730	0,307
3,60	3.842	0,218	5.122	0,240	6.402	0,258	7.684	0,274	8.964	0,289	10.246	0,302	11.526	0,314	12.806	0,326
3,90	4.162	0,213	5.548	0,253	6.937	0,272	8.325	0,289	9.711	0,305	11.099	0,319	12.418	0,332	13.874	0,343
4,20	4.482	0,241	5.974	0,266	7.470	0,286	8.966	0,303	10.458	0,320	11.952	0,335	13.448	0,348	14.940	0,361
4,50	4.803	0,253	6.402	0,278	8.064	0,300	9.606	0,319	11.205	0,335	12.807	0,351	14.409	0,364	16.008	0,378
4,80	5.122	0,264	6.828	0,291	8.536	0,313	10.246	0,332	11.952	0,350	13.662	0,366	15.370	0,381	17.076	0,394
5,10	[illegible]	0,275	7.255	0,303	9.071	0,326	10.887	0,346	12.699	0,365	14.514	0,381	16.330	0,396	18.142	0,410
5,40	[illegible].763	0,286	7.683	0,314	9.603	0,338	11.526	0,360	13.446	0,379	15.369	0,396	17.289	0,412	19.209	0,427
5,70	6.[illegible]83	0,296	8.109	0,326	10.138	0,351	12.167	0,373	14.195	0,393	16.222	0,410	18.251	0,427	20.277	0,442
6,00	6.404	0,306	8.536	0,337	10.672	0,363	12.808	0,386	14.940	0,406	17.076	0,425	19.212	0,442	21.344	0,458

On a donné aux ventaux des portes d'écluse de grande dimension en Angleterre des formes courbes qui, lorsque les ventaux sont fermés, représentent l'*arche ogive*. Cette forme, en donnant une plus grande résistance, permet de reduire les dimensions des bois et de rendre aussi les portes plus légères et plus

mobiles. Le degré de courbure qui correspond à la plus grande résistance, et les dimensions que doivent avoir les ventaux courbes, sont en conséquence des objets assez importants; puisque, outre l'économie de dépense première, on obtiendra aussi un plus grand nombre de passages de navires par l'écluse dans un temps donné.

Figures de la planche ci-contre.

Pour arriver à connaître ce degré de courbure, il faut d'abord rechercher les efforts auxquels la forme ogive est soumise, parce qu'on pourra discerner alors les variations de courbure et la saillie du busc qui tendront à augmenter la résistance, et réciproquement.

Soient AB, BC les deux ventaux courbes qui s'arcboutent en B; soit φ l'angle BAC; soit θ l'angle DBE formé avec la corde BA par DB, tangente en B à la courbe du ventail de gauche; soit ω la poussée de l'eau sur chaque ventail. Le ventail AB étant chargé uniformément exercera dans la direction DB de la tangente une pression représentée par la ligne DB (DE représentant $\frac{1}{2}\omega$), c'est-à-dire égale à $\frac{1}{2}\omega$ cosèc. θ.

Cet effort est neutralisé par la résistance et la compression du ventail BC, laquelle dans le cas actuel, au lieu de s'ajouter à la poussée transversale des eaux sur BC comme dans les ventaux plans, agit au contraire en sens inverse de cette poussée, et d'autant plus qu'elle s'oppose davantage à l'effort longitudinal DB.

Soit BF la force normale à la courbe du ventail BC qui tend à faire tourner ce ventail en C, et qui est égale à la moitié de la poussée de l'eau. En la décomposant suivant la direction de la tangente DB prolongée, et suivant FG parallèle à la corde BC; la ligne BG représentera la force de compression du ventail BC dans la direction DB, et sera égale à $\frac{1}{2}\omega$ cosèc. $(2\varphi-\theta)$.

Comme la diminution sur la poussée transversale sera d'autant plus grande que la force ci-dessus sera plus efficace contre l'effort tangentiel DB; la valeur de l'effort transversal pour des angles quelconques φ et θ s'obtiendra par la proportion suivante

$$\frac{1}{2}\omega\,\text{cosèc.}\,\theta : \frac{1}{2}\omega\left\{\text{cosèc.}\,\theta - \text{cosèc.}\,(2\varphi-\theta)\right\} :: \frac{1}{2}\omega : x$$

ou $$x = \frac{\frac{1}{2}\omega\left(\text{cosèc.}\,\theta - \text{cosèc.}\,(2\varphi-\theta)\right)}{\text{cosèc.}\,\theta} = \frac{1}{2}\omega\left\{1 - \frac{\text{cosèc.}\,(2\varphi-\theta)}{\text{cosèc.}\,\theta}\right\} = \frac{1}{2}\omega\left(1\frac{\sin.\,\theta}{\sin.\,(2\varphi-\theta)}\right).$$

C'est là la véritable expression de l'effort transversal exercé sur le milieu de la longueur d'un ventail.

Quand les deux ventaux appartiennent au même cintre et font le même rayon de courbure, c'est-à-dire quand les angles φ et θ sont égaux, le second terme s'évanouit; la force tangentielle est équilibrée par la force de compression opposée. Ainsi dans cette disposition, si la courbe était géométriquement régulière, les efforts parfaitement les mêmes, si les matériaux avaient une densité uniforme; les charges ou poussées sur les ventaux n'auraient d'autre effet que celui de la compression directe sur les fibres des bois. Or le bois oppose une grande résistance à une pareille compression, ainsi que les expériences de M. Girard l'ont prouvé.

Dans la pratique, toutes ces conditions ne sont pas satisfaites; la courbure n'est jamais parfaitement régulière, le bois n'est pas d'une densité uniforme, et l'une de ces deux circonstances suffirait pour produire un effort transversal qui finirait par détruire les ventaux.

Car dans le premier cas, la position relative des ventaux à leur jonction serait altérée, et ils ne se toucheraient pas également sur toute la hauteur; la compression, devenant plus forte, ne porterait que sur quelques fibres qui finiraient par céder, et le mal continuerait de croître jusqu'à la rupture.

Dans le second cas, celui des variations de densité, certaines fibres céderaient plutôt que d'autres, détermineraient un changement de figure et produiraient par suite les mêmes résultats que dans le premier cas.

Ainsi la cause principale de rupture serait un effort transversal déterminé par l'irrégularité de courbure, quelle qu'en fût l'origine; plus par conséquent cette courbure se rapprochera de celle de l'arc de cercle, et plus les ventaux auront de force.

On doit remarquer toutefois, que la *voûte* des ventaux n'est pas d'une seule pièce; que les fibres sont désunies à la saillie du busc; et que s'il y avait quelque déformation en ce point, il n'y aurait pas de fibres pour résister à l'effort transversal, qui serait alors engendré. Or comme cette déformation est une des chances les plus fréquentes, cette zone serait évidemment la plus faible de la voûte.

Il devient par ce motif nécessaire de s'écarter un peu de la forme théorique, en donnant plus de longueur aux ventaux et en les faisant s'arcbouter à un point peu distant de la courbe, c'est-à-dire en faisant celle-ci *légèrement ogive*. Mais comme la sécurité qu'on obtiendrait ainsi aurait pour conséquence un effort transversal et permanent sur les ventaux, cette déviation de l'arc de cercle doit être aussi petite que possible, c'est-à-dire de $0^m,30$ ou $0^m,45$ pour des écluses de 12 mètres à $13^m,50$ de débouché.

L'on a été bien au delà dans plusieurs fermetures d'écluses.

L'angle du busc habituellement suivi en Angleterre dépasse de beaucoup 19° 25' et s'élève généralement de 30° à 40 : on en donne pour motif que cette grande ouverture exige moins de volume dans les maçonneries des colliers. Cependant on cite la célèbre porte d'écluse de *Muyden* en Hollande, dont l'angle du busc n'est que de 16° 30'. L'ancienne écluse de Sparendam, dans le même pays, construite en 1568, et qui a soutenu sans dégradations de nombreuses et violentes tempêtes, n'avait pour saillie de busc que le $\frac{1}{10}$ de l'ouverture. Quoique cette saillie dépende de sujétions locales, on pense que celle qui est adoptée en Angleterre est trop considérable; qu'elle occasionne des poids *improductifs*; et augmente l'un des inconvénients de la navigation artificielle, celui du temps perdu dans le passage des écluses.

L'emploi de bois courbes est avantageux sans aucun doute; mais il n'a été fait jusqu'ici sur aucune règle fixe, ainsi que le prouvent les différences des courbures adoptées; les unes se rapprochent beaucoup de la forme qui a été reconnue la meilleure; d'autres sont si peu courbes qu'elles ne présentent aucun avantage notable sur les ventaux plans.

Pour faire ressortir ces différences, on a indiqué, dans les figures de la planche, les courbures des ventaux des portes d'écluses aux docks de Sainte-Catherine, de Londres et des Indes occidentales; leurs dimensions sont comme suit : Figures de la planche ci-contre.

	Largeur de l'écluse.	Saillie du busc.	Rayon de courbure.	Angle φ	Angle θ
Docks de Sainte-Catherine. . .	13m.50	3.30	35m.10	20°.16'	6°. 8'.
— de Londres.	12m.00	2 70	15m.00	23°.35'	13°.54'.
— des Indes Occidentales.	13m.50	3.00	36m.00	26°.24'	5°.53'.

Avec les formules précédentes on a calculé la valeur de l'effort transversal dans chaque porte courbe (en prenant pour limite la moitié de la poussée de l'eau), et dans l'hypothèse, qu'avec la même saillie de busc, les ventaux fussent plans. Les résultats sont indiqués dans le tableau suivant n° 3.

Pour faciliter la comparaison des portes courbes et planes dans les *mêmes écluses*, on a indiqué dans une colonne la valeur de l'effort transversal sur les portes courbes, en prenant pour limite celle qui correspond aux portes droites. La quatrième colonne fait connaître les réductions qu'on pourrait faire sur les bois des portes planes, *si ces portes étaient courbes.*

TABLEAU N° 3.

Écluses.	Effort transversal $\frac{1}{2}\varpi$ étant pris pour unité.	Effort transversal sur ventaux plans ayant même flèche que les ventaux courbes et $\frac{1}{2}\varpi$ étant pris pour unité.	Effort transversal sur ventaux courbes en prenant pour unité celui des ventaux plans.	Réductions possibles sur les dimensions du bois en substituant des ventaux courbes aux ventaux plans de même saillie de busc.
Docks de Sainte-Catherine. .	0.86	1.178	0.73	0 90
— de Londres.	0 56	1 229	0 45	0 766
— des Indes-Orientales. .	0.86	1.201	0 72	0.896

On voit que la courbure des portes dans ces trois localités aurait de grands avantages; mais surtout dans les docks de Londres, parce que le rayon de courbure y est moindre, et que les courbures des deux ventaux s'y rapprochent plus de celle d'un *seul arc-de-cercle*.

On a allégué la difficulté de trouver des bois d'une courbure très-prononcée pour justifier le grand rayon de courbure de beaucoup de ventaux curvilignes; mais ce motif ne s'appliquerait pas aux ventaux en fonte pour lesquels cependant, on a jusqu'ici suivi des courbures *peu très-prononcées*. Ainsi on peut voir dans les figures la planche que : les courbures des ventaux en fonte de fer, aux écluses du canal Calédonien, aux docks de Dundée et au bassin de Sheerness, diffèrent beaucoup l'une de l'autre; et que dans l'une d'elles la courbure est aussi faible qu'aux portes en bois des écluses des docks des Indes occidentales et des docks de Sainte-Catherine.

Figures de la planche ci contre.

Voici du reste leurs dimensions :

Localités	Largeur de l'écluse.	Saillie du busc.	Rayon de courbure.	Angle φ.	Angle θ.
Canal Calédonien. . .	14m.00	3m.00	22 50	30°00′	8°8′
Docks de Dundée . .	12m 00	2m 25	20.10	22° 2′	9°12′
Bassin de Sheerness .	17m 40	3m.75	16.50	24° 5′	16°55′

Pour comparer ces courbures, on a calculé le tableau n° 4 de la même manière que le tableau n° 3 pour les portes en bois. On s'est servi des mêmes formules, quoique cela ne fût pas parfaitement exact; mais l'erreur ne peut entacher les résultats du tableau ci-dessous :

Localités.	Effort transversal en prenant $\frac{1}{2}\varpi$ pour unité.	Effort transversal sur les ventaux en prenant $\frac{1}{2}\varpi$ pour unité.	Effort transversal sur les ventaux courbes en prenant pour unité l'effort sur les ventaux plans.	Reduction possible sur les dimensions du métal en substituant des ventaux courbes aux ventaux plans.
Canal Calédonien. . . .	$0^m.82$	1.173	0.70	0.887
Docks de Dundée. . . .	$0^m.72$	1.247	0.58	0.834
Bassin de Sheerness. . .	$0^m.44$	1.245	0.35	0.704

On voit que dans les portes du canal Calédonien, l'effort transversal est presque aussi grand que dans celles des docks de Sainte-Catherine, et des Indes occidentales. Une amélioration notable se manifeste dans les portes des docks de Dundée et du bassin de Sheerness, particulièrement dans ces dernières, où l'effort transversal sur les ventaux courbes n'est presque que le tiers de ce qu'il eût été pour des ventaux plans de même saillie de busc. On pense qu'en diminuant légèrement l'angle de saillie de busc et en augmentant la courbure des ventaux, on aurait encore accrû la légèreté et la mobilité de ces fermetures.

APPENDICE N° 3.

Précis historique des travaux de la digue de Cherbourg, depuis l'époque à laquelle ils ont été entrepris jusqu'en 1830, rédigé par M. de Lamblardie fils, inspecteur général des ponts et chaussées et des travaux maritimes, d'après divers documents, et notamment ceux fournis par MM. les Ingénieurs Fouques-Duparc et Virla.

(1) La pensée de créer un grand établissement de marine militaire dans la Manche où les flottes françaises pussent trouver un abri contre les tempêtes ou contre les attaques d'un ennemi supérieur en force, et qui leur offrît également les moyens de se réparer, date déjà d'un assez grand nombre d'années. Le besoin s'en fit surtout sentir après l'époque désastreuse du combat de la Hougue ; mais ce ne fut qu'après la ratification de la paix de 1780, que Louis XVI s'occupa sérieusement de réaliser cet important projet, et que ce Monarque fixa son attention sur la baie de Cherbourg.

Figures de la planche ci-contre

(2) La baie de Cherbourg est située, comme on le sait, à l'extrémité nord de la presqu'île du Cotentin. Elle est formée par le renfoncement que présente la partie de cette côte, comprise entre la pointe de Querqueville à l'ouest, et les rochers de l'île Pelée à l'Est. La distance qui sépare ces deux points extrêmes offre une longueur d'environ 3,600 toises (7017 mèt.), et la plus grande largeur mesurée entre cette ligne et le rivage est d'environ 2,000 toises (3,898 mètres).

(3) Cette rade, avant le commencement des travaux qui y ont déjà été exécutés, était entièrement foraine : abritée seulement par les hauteurs qui l'environnent, contre les vents de la partie du sud, depuis l'*est-nord-est* jusqu'à l'*ouest-nord-ouest* ; elle était entièrement ouverte, du côté du nord, à ceux qui soufflent dans cette direction depuis l'*ouest-nord-ouest* jusqu'à l'*est-nord-est*. En sorte que les navires y étaient exposés, sans aucun abri, aux vents qui produisent les plus fortes vagues dans ces parages.

(4) L'idée de couvrir la rade de Cherbourg par un ouvrage d'art, remonte à 1712; mais le premier projet de cette espèce, sur lequel on ait pu se procurer des renseignements complets, ne date que de 1777. Il est dû à M. de la Bretonnière père, capitaine des vaisseaux du roi. Année 1712.

(5) Le projet de cet officier consistait à former une digue artificielle en pleine mer à environ 2,000 toises (3,898 mètres) du rivage, et à l'abri de laquelle les vaisseaux eussent été, selon lui, parfaitement en sûreté. Année 1777.

Cette digue devait laisser communiquer la rade avec la mer par trois passes, savoir : l'une à l'ouest entre la pointe de Querqueville et l'extrémité ouest de la premièrebranche; l'autre située dans le milieu; et enfin la troisième, entre l'extrémité Est de la seconde branche et l'île Pelée.

(6) Le noyau de cet ouvrage devait être formé au moyen de navires remplis de maçonnerie que l'on aurait coulés bas, et qui auraient été ensuite recouverts d'un enrochement à pierres perdues jusqu'à 50 pieds (16m,30) environ au-dessus du fond de la mer; c'est-à-dire qu'elle aurait été recouverte de 18 pieds (5m,85) d'eau dans les pleines mers des sysygies. Mais ce projet ne fut point accueilli.

(7) Tandis que le département de la Marine s'occupait à cette époque, des moyens de former un établissement maritime à Cherbourg; celui de la Guerre avait été chargé de son côté, d'étudier des projets pour cette vaste entreprise. Année 1778

(8) En conséquence les Ingénieurs militaires proposèrent en 1778, la construction d'une digue qui eût été établie dans une direction passant par les rochers du Hommet et par l'extrémité sud-ouest de l'île Pelée. Comptant réduire ainsi la rade de Cherbourg à l'espace de mer compris entre cette direction et la terre; ils projetèrent en même temps, la construction de deux grands forts, l'un sur le Hommet, l'autre sur l'île Pelée, en choisissant les positions qui réduisaient le plus possible la distance qui sépare ces deux points.

Cette digue devait être formée par des caissons remplis de maçonnerie de béton, établis en retraite les uns contre les autres, et recouverts du côté du large, par un enrochement à pierres perdues, comme dans le système de M. de la Bretonnière.

(9) Ce projet eut le même sort que le premier, en ce qui concernait la digue; et le Gouvernement se borna à faire entreprendre immédiatement la construction des forts.

(10) Après avoir longtemps hésité sur les moyens de fermer la rade de Cherbourg, le Gouvernement adopta, en 1781, le projet des caisses coniques proposé par M. de Cessart. Les détails de ce projet sont trop connus pour qu'il soit Année 1781.

besoin d'entrer dans de grands développements à son sujet ; mais il est cependant indispensable de présenter ici quelques renseignements qui s'y rattachent, et de rappeler les principaux faits qui ont conduit à abandonner ce mode de construction.

(11) La digue devait être, ainsi qu'il a été dit ci-dessus, construite au moyen de caisses en charpente de forme conique tronquée suivant une *ligne brisée en plan* aux deux tiers de sa longueur, située à environ 2,000 toises (3,898 mèt.) du rivage; et dont les deux directions passent, d'un côté par l'île Pelée, et de l'autre par la pointe de Querqueville. Cette digue devait laisser, et laisse effectivement aujourd'hui, deux passes entre la pointe de Querqueville et l'île Pelée; l'une à l'ouest d'environ 1,200 toises (2,339 mètres) de longueur; l'autre à l'Est de 500 toises (975 mètres).

Figures 615 des planches

(12) Les caisses coniques devaient avoir 45m,50 de diamètre à la base, 19m,50 au sommet, et 19m,50 de hauteur. Dans le principe, et tel que M. de Cessart avait d'abord conçu son projet, ces caisses devaient se toucher *base à base* sur toute la longueur de la digue. Elles devaient être remplies : en moellons *à sec* depuis le fond jusqu'au niveau des basses mers; et en maçonnerie de béton, parementée en pierres de taille, depuis ce niveau jusqu'à leur sommet. Enfin les mémoires et renseignements divers, relatifs aux travaux et projets de cette époque, font voir que si M. de Cessart n'avait point été entraîné par des influences puissantes étrangères à sa volonté, il eût sans doute proposé de porter la digue plus au large, et de lui donner une configuration curviligne, dont la concavité eût été tournée du côté de la mer (1).

Mais il s'en faut de beaucoup que son projet ait été exécuté comme on vient de le décrire.

(13) D'abord le département de la Guerre s'opposa de toute sa puissance à ce que la digue fût portée plus vers le large qu'elle ne l'est, afin de ne pas rendre en quelque sorte inutiles les forts qu'on avait projetés sur l'île Pelée et les rochers du Hommet, et dont la construction était déjà fort avancée en 1784, époque de l'échouement du premier cône. Ce Département projeta même alors de prolonger la digue dans l'ouest jusqu'à environ 600 toises (1,169 mèt.) de la pointe de Querqueville, afin d'obliger les bâtiments ennemis qui voudraient forcer cette passe, à passer à bonne portée d'un fort dont il entreprit plus tard la construction. Mais ce prolongement est devenu depuis à peu près inutile,

(1) Extrait du Mémoire de la Commission de 1792.

par suite de la découverte que fit un officier de la Marine royale (M. de Chavagnac) d'un écueil qui n'est submergé que de 15 pieds ($4^m,89$) d'eau à basse mer, et qui n'est situé qu'à environ 600 toises (1,169 mètres) de l'extrémité actuelle de la digue, précisément dans la direction où il eût fallu la prolonger.

Année 1784 et suivantes jusqu'à 1789

(14) Des considérations d'économie déterminèrent ensuite à ne remplir les cônes que de *petites pierres* sans aucune liaison de mortier, depuis leur base jusqu'à leur sommet. Enfin, par suite d'un concours de circonstances qu'il est inutile de rappeler ici; les cônes furent successivement espacés de 30 toises ($58^m,50$); de 50 toises (97^m5); de 120 toises (234 mètres); et même jusqu'à 200 toises ($389^m,80$), au lieu d'être échoués base à base. Pour remédier à l'inconvénient de cette modification qui rendait l'emploi des caisses coniques illusoire sous le rapport de la tranquillité de la rade, on remplit les intervalles qui les séparaient par des enrochements de petites pierres, qui s'élevaient à peu près jusqu'au niveau de basse mer.

(15) Les changements apportés dans l'exécution du projet de M. de Cessart devaient nécessairement nuire à la réussite de cette entreprise, lors même que les principes qui avaient dirigé son auteur dans sa conception n'eussent point été susceptibles d'être controversés. Aussi, dès les premières années de leur construction, les cônes éprouvèrent-ils des avaries considérables; les vagues, en déferlant sur leur sommet, enlevèrent une grande partie de la pierre qui les remplissait; le ressac, qui avait lieu sur leurs parois extérieures, affouillait également les enrochements dont ils étaient entourés; enfin leur charpente elle-même ne fut point exempte d'avaries considérables.

16. On essaya pendant quelques années de réparer ces avaries et de s'opposer à ce qu'elles se renouvelassent, en construisant sur le sommet des deux cônes extrêmes de l'*Est* des massifs en béton qui avaient environ deux mètres d'épaisseur; mais tous ces moyens ne purent remédier au mal. En 1788, le gouvernement abandonna tout à fait ce système de construction; et en 1789 tous les cônes furent récépés jusqu'au niveau des basses mers, à l'exception de celui de l'extrémité *Est* de la digue, qui fut conservé pour marquer la passe, et qui avait d'ailleurs mieux résisté que les autres en raison de la couche de béton dont il était recouvert (1).

(1) Ce dernier cône est tombé en ruine en 1799. Les vers marins en avaient rongé la majeure partie, et ils ont également détruit ce que l'on pouvait apercevoir des restes des autres cônes

Année 1789

Il résulte de ce qui précède, que les travaux de la digue avaient été conduits jusqu'alors d'après un système de construction mixte, dont les deux parties n'avaient aucune corrélation entre elles, et ne pouvaient se prêter aucun appui réciproque; puisque d'une part, l'action des lames sur les cônes produisait des affouillements dans les enrochements; et que de l'autre part ceux-ci n'ajoutaient rien à la solidité des premiers.

(17) Les partisans de ce dernier système le firent alors prévaloir sur celui des cônes. A partir de 1788, l'on ne s'occupa plus que du versement des pierres pour la formation de la digue; et ces travaux furent poussés avec une telle activité, que la quantité de ces matériaux versés s'élevait à environ 2,665,400 mètres cubes à la fin de 1790.

(18) A cette époque les enrochements se trouvaient élevés, à peu de chose près, *au niveau moyen des basses mers*, sur toute la longueur de la digue; mais ces enrochements éprouvèrent bientôt eux-mêmes des avaries qui jetèrent de nouveau une grande incertitude sur les moyens qu'il convenait d'employer pour terminer cette vaste entreprise.

Figures 571 des planches.

En effet il est facile de concevoir; qu'une masse de pierres d'un faible volume, sans aucune liaison, établies sur un talus qui n'avait qu'un et demi de base sur un de hauteur du côté du large, ne pouvait résister à l'action des vagues; et que sa configuration devait éprouver des changements considérables dont il était impossible de prévoir le terme ni les suites. Ces changements furent tels, que le sommet de la digue fut promptement abaissé au-dessous des plus basses mers; et que quelques personnes pensèrent que les pierres qui la formaient avaient été chassées dans l'intérieur de la rade par l'effet des lames.

Mais il importe de signaler ici comment ces effets s'opérèrent, parce que les observations auxquelles ils donnèrent lieu eurent une grande influence sur le mode qui fut adopté par la suite pour la continuation des travaux.

(19) Les pierres formant le talus extérieur furent d'abord déplacées dans *deux sens différents*, par suite du mouvement oscillatoire des ondes. Elles s'étendirent généralement sur un plan beaucoup moins incliné, par rapport à l'horizon, que le talus qui leur avait été primitivement donné. Une partie descendit vers le pied de la digue, et une autre fut poussée vers le sommet; de manière qu'après les premières tempêtes le sommet fut d'abord plus élevé qu'il ne l'était dans le principe (1). Quant au talus intérieur, il n'éprouva

(1) Ce fait est rapporté dans le Mémoire de la commission de 1792.

aucune espèce d'altération. Mais dans la suite, le sommet s'abaissa à son tour; les pierres qui le formaient furent culbutées par les lames vers le talus intérieur; et celui du côté du large continua de s'étendre et d'augmenter d'inclinaison jusqu'à ce qu'il eût acquis la configuration indiquée dans les figures 571 des planches. Figures 571 des planches.

Ce profil a sensiblement la forme d'un quadrilatère irrégulier, dont le plus grand côté repose sur le sol, et dont les trois autres côtés affectent les pentes suivantes, savoir :

Le petit côté vers le large a un de base sur un de hauteur jusqu'au point où il rencontre une profondeur d'eau moindre que 14 à 15 pieds (4^{m},56 à 4^{m},89) au-dessous du niveau des basses mers :

Le côté supérieur a une pente de dix de base sur un de hauteur, depuis sa rencontre avec le petit côté jusqu'au point culminant du profil :

Enfin le côté vers la rade a un de base sur un de hauteur.

On s'assura d'ailleurs par des draguages faits avec soin; qu'aucune partie des enrochements n'avait été projetée dans l'intérieur de la rade, comme on l'avait d'abord craint.

(20) Lorsque toutes les parties de la digue eurent acquis la configuration décrite ci-dessus; les enrochements n'éprouvèrent plus de dérangements aussi sensibles. On pensa avec raison que l'actiou des lames leur ayant donné la forme qui présentait le moins d'obstacles à leur développement, le profil ne serait plus attaqué. Mais comme on avait remarqué cependant que cette action se faisait sentir jusqu'à (14^{m},56) ou 15 pieds (4^{m},89) au-dessous du niveau des plus basses mers, on conserva encore quelques doutes sur la stabilité des enrochements en petites pierres; et l'on essaya de les consolider complétement en recouvrant, sur la branche de l'Est, une certaine longueur du talus extérieur par une couche de blocs cubant chacun de 20 à 25 pieds cubes (0$^{m.c.}$,58 à 0$^{m.c.}$,89).

Cette partie de l'ouvrage reçut le nom de *digue d'épreuve;* elle résista, et a constamment résisté depuis sa construction, aux efforts des plus violentes tempêtes sans éprouver de changements sensibles.

En définitive, il résulte des renseignements présentés dans le Mémoire de M. le baron Cachin, publié en 1820, que par suite de l'action des lames sur les enrochements en petites pierres :

Le sommet de la branche de l'*Est* de la digue sur laquelle on avait versé la plus grande quantité de pierres, et qui était d'ailleurs consolidé par les débris d'un assez grand nombre de cônes, découvrait à peine à basse mer dans les

grandes marées; et que le sommet de la branche de l'Ouest s'était généralement abaissé jusqu'à 8 pieds (2^m,60) à 10 pieds (3^m,25) au-dessous du même point (1).

(21) C'est encore à l'époque de 1789 que le Gouvernement voulut s'assurer, par des sondes multipliées et rapportées à un point de repère commun, de la nature du fond de la rade et des différentes profondeurs d'eau qu'elle présentait. Ce travail fut confié à deux commissions qui opérèrent simultanément, mais séparément, afin que les résultats pussent être confrontés comme moyen de vérification.

Années 1790 et 1791. (22) On ne fit que peu de travaux à Cherbourg en 1790; et la tourmente révolutionnaire qui commençait à se faire sentir dès cette époque, obligea de les suspendre entièrement. Cependant plusieurs ingénieurs s'occupèrent, dans cette année et dans la suivante, de la recherche des moyens de les continuer avec plus de succès qu'on n'en avait obtenu jusqu'alors.

(23) Les moyens que ces ingénieurs imaginèrent, sont décrits sommairement dans un Mémoire rédigé par un ancien conducteur des travaux de la rade (*le sieur Noël*) et publié en 1801 :

Trois de ces projets consistent : dans l'emploi combiné du système des enrochements avec des murs en maçonnerie, et avec divers systèmes de charpente qui n'eussent été probablement employés que comme *moyens d'exécution*.

Le sieur Noël n'indique point les noms des auteurs de ces projets ; mais d'après ce qui reste de la minute d'une lettre écrite par M. de Lamblardie père à MM. Pitrou, Gayant et Ferregeau, alors ingénieurs des ponts et chaussées dans le département de la Manche, tout porte à croire qu'ils ont été étudiés par ces ingénieurs.

Cette minute de lettre contient aussi l'indication sommaire des moyens de construction que M. de Lamblardie père croyait alors devoir être les plus convenables pour achever la digue de Cherbourg.

(24) Après avoir déduit de la configuration qu'affectent les différents rivages de la mer, suivant l'espèce de matériaux dont ils sont formés, les principes qui devaient, selon lui, diriger dans la recherche du profil qu'il convenait d'adopter pour la digue de Cherbourg; cet ingénieur proposait de n'employer dans sa

---

(1) Les profils qui ont été relevés avec le plus grand soin par M. l'ingénieur Virla en 1829, confirment ces résultats; et apprennent également que l'action des lames se fait sentir sur les petites pierres plus bas qu'on ne l'avait pensé jusqu'à présent. Ils indiquent aussi que les modifications qui ont été déjà apportées dans le régime des courants par suite de la construction de la digue, en ont également fait naître dans le fond de la rade *aux abords* de cet ouvrage.

construction que des enrochements à pierres perdues, en ayant l'attention de réserver les matériaux les plus gros pour garnir la partie supérieure du talus vers le large.

M. de Lamblardie pensait d'ailleurs que le moyen le plus efficace de faire prendre au parement extérieur la forme la plus convenable était : de laisser agir la mer sur les masses de petites pierres que l'on aurait seulement versées de manière à en pouvoir approcher le plus possible. Mais pour éviter que les pierres soulevées par l'action des vagues ne fussent jetées sur le talus intérieur de la digue ; cet ingénieur proposait de faire usage de prismes triangulaires bâtis en charpente, que l'on aurait établis sur le sommet des enrochements supposés élevés au niveau des basses mers. Ces prismes eussent été échoués sur une de leurs faces, et fixés dans cette position par quelques blocs reposant sur la paroi inférieure. La face de ces mêmes prismes, située du côté du large, eût été à claire-voie ; celle située du côté de la rade eût été bordée, non pas avant leur échouage, mais successivement et au fur et à mesure que les petites pierres poussées par l'action des lames seraient venues s'appuyer contre elle.

L'auteur de ce projet ne se dissimulait pas que, si le moyen de construction qu'il proposait d'employer suffisait pour arrêter la marche des petites pierres dans un sens *perpendiculaire* à la direction de la digue, il ne s'opposerait en rien au mouvement que prendraient ces matériaux dans le sens *longitudinal*. M. de Lamblardie père avait en conséquence calculé, d'après les données que lui avaient fournies les observations qu'il avait faites sur la marche des galets des côtes de la Haute-Normandie, quelle serait à peu près la quantité de pierres qui arriveraient annuellement aux extrémités de la digue, pour y former des *pouliers*.

D'une part il pensait que ces *pouliers* ne pourraient jamais acquérir assez d'étendue pour nuire à la sûreté des passes ; et de l'autre part, il supposait que lorsqu'ils auraient atteint un niveau supérieur à celui de la basse mer, tout ce qui excéderait ce niveau serait enlevé pour être porté en rechargement sur la digue avec les autres matériaux nécessaires à son entretien.

(25) Ainsi dans ce système de construction, on eût été obligé de porter annuellement une certaine quantité de pierres sur la digue, dont le cube était évalué par M. de Lamblardie père, ne pas devoir excéder deux cinquièmes de toise cube ($3^{m.c.}$,0) par toise courante de digue (1^{m},95).

Ce célèbre ingénieur ne se dissimulait pas non plus que cette obligation ne fût un inconvénient grave du système qu'il proposait d'employer. Mais ceux inhérents à des constructions en maçonnerie dans une semblable localité, lui paraissaient *alors* presque insurmontables ; et voici quelle était sa manière de voir sur la nature des travaux à faire :

« Éviter tout système de construction, dont on ne peut réparer les avaries avec autant de promptitude qu'elles peuvent avoir lieu.

» Choisir de préférence celui dont chaque partie d'ouvrage en maçonnerie exécutée peut être livrée à elle-même et abandonnée pendant la saison des tempêtes sans qu'il en résulte de très-grandes dégradations.

» Subordonner aussi le mode de construction à la nature des matériaux de toute espèce dont on peut disposer, et tâcher en même temps qu'il soit tel que la mer agitée tende plutôt à le consolider qu'à le détruire.

» Enfin ne recourir à des constructions en maçonnerie qu'en les garantissant par un moyen quelconque pendant la durée de leur exécution. »

(26) M. de Lamblardie père disait encore, dans la lettre citée plus haut; qu'il avait toujours regardé le système des caisses coniques *perfectionné* comme le meilleur moyen à employer, parce qu'il craignait les attérissements dans la rade; mais que si ces attérissements n'étaient point à craindre, il préférerait le mode des enrochements à pierres perdues, qui présente des plans inclinés à la mer agitée; ce qui était, selon lui, plus conforme aux principes.

(27) Si les événements de la révolution s'opposèrent pendant quelques années à la continuation des travaux de la rade de Cherbourg, ils ne les firent cependant pas entièrement perdre de vue.

Années 1792 et 1793. L'Assemblée législative, convaincue de l'extrême importance de cette entreprise, se fit rendre compte, en 1792, de l'état des travaux exécutés, dont la dépense s'élevait déjà à plus de 31,000,000. Après avoir reconnu que les fautes qui avaient été commises dans leur exécution provenaient, en grande partie, du défaut d'ensemble et d'accord dans les projets qui avaient été adoptés, Elle rendit un décret qui chargea le gouvernement de nommer des commissaires choisis dans les départements de la Guerre, de la Marine et de l'Intérieur, pour constater les avantages des travaux précédemment faits, et proposer tous les moyens de perfection et les constructions nouvelles qu'ils jugeraient utiles au complément de cet établissement maritime (1).

(1) Cette commission fut composée de :

MM. Crublier d'Opterre, Du Dezerseuil,	Officiers du génie.
Eyriez, Letourneur,	Officiers de la marine royale.
Lamblardie père, Cachin,	Ingénieurs des ponts et chaussées.
Péqueux, Le Gagneux,	Pilotes.

Cette Commission porta son attention sur l'ensemble et sur tous les détails de cette vaste entreprise. Le rapport qu'elle remit au gouvernement est en même temps un témoignage éclatant des talents des personnes qui l'ont rédigé, et de la sagesse de celles qui avaient provoqué sa formation ou présidé au choix des membres qui la composaient.

Les questions relatives à l'amélioration de la rade de Cherbourg, aux dispositions nautiques, enfin à la création des établissements maritimes nécessaires pour la réparation et l'armement des vaisseaux, et des ouvrages défensifs indispensables pour les protéger, ont été successivement traitées de la manière la plus satisfaisante dans cet important travail, dont on ne rappellera succinctement ici que ce qui concerne la sûreté de la rade.

(28) La Commission de 1792 examina d'abord la situation générale des ouvrages exécutés; et elle manifesta à cette occasion le regret que la digue n'eût pas été établie plus au large; et que des causes étrangères aux considérations nautiques eussent déterminé l'adoption d'une disposition anguleuse pour sa direction, disposition que cette commission regardait comme absolument contraire à ce que prescrivent l'observation et la théorie sur la forme à donner à ce genre d'ouvrages pour leur plus grande stabilité.

(29) Elle porta ensuite la plus scrupuleuse attention sur les diverses variations que la mer avait fait éprouver aux différentes parties de la digue, et elle reconnut qu'elles étaient conformes à ce qui en a été dit plus haut, c'est-à-dire :

1° Que l'action des lames se faisait sentir sur les enrochements formés de petites pierres jusqu'à environ 15 pieds (4^{m},89) en contre-bas du niveau des basses mers; et qu'au-dessous de cette profondeur, les talus du côté du large se maintenaient généralement avec une inclinaison de 45°;

2° Que dans toute l'épaisseur de la tranche fluide où l'action des lames se fait sentir, les talus extérieurs avaient pris une inclinaison moyenne d'environ 10 de base pour 1 de hauteur;

3° Que les talus intérieurs avaient conservé l'inclinaison de 45° qui leur avait été donnée dans le principe;

4° Que les pierres du parement extérieur étaient poussées par l'action des lames vers le talus intérieur, et qu'elles se mouvaient également dans le sens *longitudinal* de la digue dans une direction qui dépendait de celle des vents et des courants;

5° Que la digue d'épreuve, qui avait été recouverte d'une couche de gros blocs, n'avait subi aucune altération.

(30) La Commission de 1792 conclut des observations ci-dessus :

1° Que les petites pierres qui formaient la partie de la digue non recouverte de gros blocs étaient encore susceptibles de prendre du mouvement, et qu'il serait difficile de prévoir l'époque à laquelle ce mouvement s'arrêterait;

2° Que le point où l'action des vagues se trouve en équilibre avec la résistance des petites pierres étant à 14 ou 15 pieds 7 p. (4m,59 à 4m,86) en contre-bas du niveau des basses mers; les parties supérieures des talus ne deviendraient tout à fait stables que lorsque celles inférieures seraient assez allongées pour que les vagues eussent dépensé, en les parcourant, toute la force dont la mer est animée avant d'arriver au sommet de la digue;

3° Que le seul moyen de prévenir l'abaissement successif du sommet actuel de la digue, était de recouvrir les talus extérieurs de matériaux d'une dimension telle que l'action des vagues n'eût plus de prise sur eux.

(31) Considérant ensuite que les blocs jetés sur la digue d'épreuve avaient satisfait à cette condition, la Commission proposa de faire usage de ce moyen de construction, qui lui parut devoir réussir *à quelque hauteur* que l'on voulût élever le massif des enrochements.

(32) Ce point important arrêté, la Commission de 1792 s'occupa de la question de savoir à quelle hauteur on porterait l'élévation de la digue.

Elle recueillit à ce sujet tous les renseignements qu'elle put se procurer sur les opinions qui avaient été émises par les marins et les ingénieurs antérieurement à sa formation; et fit par elle-même de nombreuses observations au moyen du vaisseau le *Trident* et des autres bâtiments qui stationnaient dans la rade de Cherbourg.

Ce concours de renseignements la conduisit à proposer d'élever la digue jusqu'à 9 pieds (2m,92) au-dessus des plus hautes mers.

(33) La Commission porta ensuite son attention sur les passes. Celle de l'ouest lui parut être beaucoup trop large. Mais comme il ne semblait pas possible alors de prolonger la digue actuelle au delà du point où elle était arrêtée, à cause de la roche Chavagnac; la Commission proposa de réduire la largeur de cette passe à moitié de ce qu'elle est maintenant, en construisant une nouvelle digue partant de la pointe de Querqueville, et se dirigeant vers l'*est-nord-est*, sur une longueur de 600 toises (1169 mètres).

Indépendamment de l'avantage que la Commission trouvait à cet ouvrage sous le rapport du calme qu'il aurait procuré dans la rade; elle pensait qu'il aurait eu de plus, celui de protéger le rivage de la baie de *Sainte-Anne* contre les attaques de la mer, et d'empêcher la formation d'une quantité assez considé-

rable d'alluvions provenant de ses débris, et que les courants transportent ensuite dans la baie de Cherbourg. Enfin cette diminution de la passe aurait eu aussi, dans l'opinion de cette Commission, l'avantage de faciliter la sortie des bâtiments par un vent contraire, en faisant porter la direction des courants de jusant plus dans le nord qu'elle ne le fait maintenant.

(34) Quant aux dispositions défensives, la Commission de 1792 pensa que les trois forts qui existent maintenant, soit sur la côte, soit sur l'île Pelée, joints aux moyens maritimes que l'on pourrait employer, seraient suffisants pour protéger les passes et la rade; que, par conséquent, il n'y avait pas lieu d'établir un fort sur le musoir de l'ouest de la digue, ni sur aucun autre point de cet ouvrage, et qu'il suffirait tout au plus d'y construire de distance en distance quelques batteries rasantes.

(35) L'opinion qui avait été émise par la Commission de 1792 sur le système défensif de la rade de Cherbourg, ne fut pas partagée par l'Empereur Napoléon. Vers la fin de l'année 1800, il se fit rendre compte des divers projets qui avaient été précédemment présentés, et après en avoir examiné l'ensemble et les détails, il crut devoir considérer la défense de la rade de Cherbourg sous un autre point de vue. Année 1800

(36) Sans préjuger les avantages qui pourraient résulter de l'exhaussement total de la digue, sous le rapport de la tranquillité du mouillage, l'Empereur ne vit dans le fort du Homet qu'un établissement de simple protection pour l'intérieur de la rade. Les forts Royal et de Querqueville, situés à 3,600 toises (7016 mètres) l'un de l'autre, lui parurent hors d'état de croiser leurs feux, et d'interdire aux vaisseaux ennemis la possibilité de s'embosser au nord de la digue à la portée des bâtiments mouillés dans la rade.

Les défenses maritimes que l'on avait proposé d'employer accidentellement, furent aussi réputées ne pouvoir offrir qu'une ressource précaire et insuffisante, d'un entretien dispendieux et d'un succès incertain.

Enfin Napoléon n'hésita pas à conclure de ces considérations la nécessité d'établir sur la digue des défenses fixes, et il confia à une commission spéciale le soin d'en déterminer le placement (1).

(40) Sur le rapport de cette Commission, le Gouvernement prit une décision, Année 1802

---

(1) Cette Commission fut composée de :

MM. De Rosily, vice-amiral.

De Marescot, premier inspecteur général du genie.

Cachin, inspecteur général des ponts et chaussées.

le 15 octobre 1802, qui ordonna que : la partie centrale de la digue serait élevée à 9 pieds (2^{m},92) au-dessus du niveau des plus hautes mers, sur 100 toises (194^{m},90) de longueur, pour y établir une batterie de vingt pièces d'artillerie de gros calibre; et que les musoirs *Est* et *ouest* de la digue seraient ultérieurement disposés pour recevoir une semblable destination.

M. le baron Cachin, alors Inspecteur général des ponts et chaussées attaché au service de la marine militaire, et dans l'inspection duquel se trouvaient les travaux de Cherbourg, fut chargé de diriger cette entreprise. Il crut devoir la conduire d'après les principes adoptés par la Commission de 1792, dont il faisait partie ; mais ces principes ayant été en grande partie démentis par l'expérience; les moyens qu'il convenait d'employer pour terminer la digue ont dû être remis en question.

(41) Le premier usage que l'on fit des blocs eût d'abord tout le succès que l'on s'en était promis. On forma sur la crête des versements faits vers la partie centrale de la digue, là où devait être élevée la batterie projetée, un cordon destiné à empêcher les petites pierres de passer dans le sud; et ce qui avait été prévu arriva. Les petites pierres vinrent s'appuyer contre cette espèce de muraille; mais, cédant ensuite à l'impulsion des courants et des lames soulevées alternativement par les vents de nord-est et de nord-ouest, elles prirent un mouvement latéral, et formèrent insensiblement d'énormes dépôts aux deux extrémités du cordon qui les avait momentanément arrêtées.

Avaries éprouvées.

(42) Lorsque la masse des petites pierres eut acquis tout le développement nécessaire pour y établir une batterie, des blocs furent versés sur les talus extérieurs, conformément aux indications de la Commission de 1792. Déjà cette batterie s'élevait sur une assez grande étendue, quand une tempête en fit

Année 1803.

crouler une partie (18 décembre 1803). Il fut alors décidé que sa largeur, primitivement fixée à 25 mètres, serait augmentée et portée à 30^{m},50. Il fut aussi arrêté, qu'au centre et aux extrémités, la citerne et les latrines seraient maçonnées.

Années 1804, 1805 et 1806.

(43) Les années 1804, 1805 et 1806 furent employées à réparer les ravages causés par cette première tempête, et l'on donna à la batterie une largeur plus grande que celle qui lui avait été primitivement assignée. Les blocs les plus volumineux qu'il fut possible de transporter formèrent les revêtements du large; et la forme plus allongée des talus semblait pour l'avenir un sûr garant de leur stabilité. Cependant ils furent attaqués dans la tem-

Année 1807. Figures 5 7 1 des planches.

pête du 18 février 1807 : une brèche s'ouvrit dans l'ouest, et l'on remarqua que l'action de la lame s'était fait particulièrement sentir entre le niveau des

basses mers de morte eau et celui des hautes mers de vives eaux. On observa aussi que les blocs se trouvaient arrimés suivant une courbe parfaitement régulière, dans toutes les parties qui n'avaient point été sensiblement dégradées. Des profils furent faits sur un grand nombre de points, et l'on reconnut que cette courbe était un arc de cycloïde dont le cercle générateur avait environ 4 mètres de rayon. En rétablissant les enrochements qui venaient d'être détruits, on s'attacha donc à suivre scrupuleusement la forme que la mer avait elle-même indiquée, espérant qu'en profitant ainsi des leçons de l'expérience on parviendrait enfin à rendre cet ouvrage inattaquable : mais cet espoir fut bientôt déçu.

(44) A peine les traces de la tempête du 18 février avaient-elles disparu, que celle *des* 29 *et* 30 *mai* culbuta de nouveau les enrochements. Les blocs, poussés par les lames qui venaient de l'ouest et du nord-ouest, s'accumulèrent vers l'extrémité de prolongement de l'Est qui, comme on le voit dans le Mémoire de M. le baron Cachin (pages 30 et 31), formait le commencement d'une des deux branches de la digue. Le reste de la campagne de 1807 fut employé à recharger les talus du côté du large et à réparer, autant que possible, le mal causé par cette dernière tempête, dont les effets ne s'étaient pas fait sentir au-dessous des basses mers de morte eau.

(45) Jusque-là les dégradations occasionnées par la mer avaient été successivement réparées; mais, le 12 février 1808 (jour de pleine lune), une tempête plus violente que toutes celles qui l'avaient précédée, bouleversa en moins de six heures les enrochements, l'épaulement, le terre-plein, et renversa les établissements en charpente qui servaient au logement de la garnison et des ouvriers. Quelques points seulement résistèrent, et ce furent ceux qui avaient été maçonnés. C'est ainsi que la citerne, la latrine et les grottes de l'Est servirent de refuge à quelques-uns des hommes qui échappèrent à ce désastre. Les prolongements furent détruits : il ne resta de celui de l'Est que l'emplacement occupé par les grottes. Blocs et petites pierres passèrent pêle-mêle au sud de la digue, et formèrent ces dépôts que l'on aperçoit à mi-marée.

Année 1808

Figures 5 ; 1 des planches.

(46) Après cet affreux ouragan, la batterie ne présenta plus au nord qu'une vaste plage où l'on voyait çà et là engagés, au milieu de pierrailles et de moellons arrondis, quelques blocs qui avaient échappé au mouvement général. On crut devoir ne rien changer à la nouvelle forme que la mer avait donnée aux talus; on se borna à rétablir une batterie provisoire, et, pendant tout l'été, on versa des blocs pour protéger la petite pierre qui se trouvait à découvert.

(46) Le 27 septembre, une tempête de vent de nord-est fit encore éprouver des déplacements aux blocs nouvellement versés. Il y en eut un grand nombre de transportés vers l'extrémité ouest de la batterie, où ils se réunirent aux dépôts qui s'y étaient précédemment formés.

Année 1809. (47) Dans le cours de 1809, on continua le rechargement des talus du nord, qui n'éprouvèrent, cette année, aucune avarie marquante.

Année 1810. (48) En 1810, on fut moins favorisé par le temps. Le 2 novembre, une tempête de vent de nord-nord-est exerça sur la batterie un épouvantable ravage. Le sol en fut affouillé, sur une longueur de 25 mètres, à plus de $1^m,30$ de profondeur et 3 mètres de largeur. Soixante mètres courants de l'épaulement furent emportés jusqu'au niveau des basses mers de morte eau, et les blocs qui en provinrent furent s'ajouter, dans l'ouest, à la masse des anciens dépôts. Le mal eût été probablement plus grand, sans la citerne qui présentait au centre un point résistant qui protégea toute la partie qui se trouvait sous le vent à elle.

Dans la nuit du 10 au 11 du même mois (la lune était pleine) une seconde tempête plus violente encore acheva de détruire ce que la première avait épargné. L'enveloppe de la latrine, celles des grottes furent enlevées : la maçonnerie seule résista à la fureur des lames que soulevait un vent de nord-nord-ouest d'une force extraordinaire.

Année 1811. (49) Il fallut recommencer en 1811 à recharger les talus du nord. On y versa 13,339 mètres cubes de blocs les plus volumineux qu'il fut possible de mettre à bord des bâtiments de transport.

Soubassement du fort central. (50) Ce fut dans cette même année 1811 que l'on jeta les premiers fondements du soubassement que l'on voit au sud de la batterie, et dont M. le baron Cachin donne la description, page 37 et suivantes de son Mémoire. La fréquence des dégradations qu'éprouvaient les enrochements et les doutes que l'on commençait à concevoir sur la possibilité de leur attribuer une résistance convenable, amenèrent un changement de système. On se détermina à construire un édifice dont la base, établie au niveau des plus basses marées, maçonnée et revêtue en granit, présentât à la mer un bloc artificiel qui pût soutenir l'effort des tempêtes par le seul effet de l'énormité de sa masse. Le mode adopté pour l'exécution de cet ouvrage fut le même que l'on avait suivi lors de la construction du mur du quai extérieur du terre-plein qui sépare la rade du bassin à flot du port militaire. Ce mur, également fondé au niveau de mer basse, sur une digue à pierres perdues, qui descend à 4 et 5 mètres en contre-bas du point zéro, reçoit directement le vent de nord-est; il est exposé

au choc des plus violents coups de mer, et, à quelques tassements près, jamais on ne s'est aperçu qu'il eût aucunement souffert. Cependant la hauteur de la lame n'est pas sur ce point beaucoup moindre qu'au large, puisqu'il s'y trouve 10 et 12 mètres d'eau au moment du plein de la mer.

(51) Pendant la campagne de 1812, en même temps que l'on continuait les travaux du soubassement, les versements se multiplièrent au nord de la batterie. Les enrochements n'éprouvèrent pas de dégradations sensibles, l'épaulement seul fut facilement attaqué sur quelques points. Année 1812

(52) En 1813, il ne fut plus versé que 270 mètres de blocs, et, depuis cette époque jusqu'en 1824, la batterie a été abandonnée à elle-même : aucune dépense n'a été faite pour son entretien. Cependant la mer, dans un laps de temps aussi long, avait notablement affaibli les enrochements : la forme des talus s'était, il est vrai, assez bien conservée, même après le coup de vent du 31 octobre 1823; mais il était à craindre qu'une nouvelle bourrasque, survenant avant qu'on eût le temps de faire les réparations nécessaires, ne fût suivie de quelque grande catastrophe; et c'est en effet ce qui arriva dans la tempête du 3 mars 1824, le second jour après la nouvelle lune. Deux larges brèches furent ouvertes de chaque côté de la citerne, dont la maçonnerie, entièrement mise à nu, se maintint encore intacte au milieu de ce bouleversement. Le sol de la batterie était profondément affouillé en plusieurs endroits. Les blocs qui provenaient des enrochements détruits, fuyant devant la lame que chassait le vent de nord-ouest, avaient été se déposer à l'extrémité du prolongement de l'Est. On eut encore dans cette circonstance l'occasion de remarquer qu'au-dessous du niveau de basse mer de morte eau, le talus n'avait aucunement souffert, ce qu'attestaient les varechs dont les blocs étaient recouverts. L'effet destructeur de la lame ne se fit sentir que dans la partie supérieure; et cette observation vint à l'appui de celles que l'on avait précédemment faites. Année 1813 Année 1824. Figures 571 des planches.

(53) La réparation de la batterie fut ordonnée. Le Ministre décida, sur la proposition de M. le baron Cachin, que sa masse serait établie sur un plan concentrique au fort Dauphin, et l'étendue bornée au pourtour de ses revêtements extérieurs, de manière à assigner aux différentes parties de son relief les dimensions suivantes : Reconstruction de la batterie centrale.

Épaulements.	3 mètres.
Plate-forme pour l'artillerie.	8
Place d'armes.	13
Fossé.	6
Total.	30

Les revêtements intérieurs devaient être maçonnés; ceux de l'extérieur semblaient, d'après le plan joint à la dépêche, ne devoir se composer encore que d'enrochements. Le peu de succès que l'on avait obtenu jusque-là de l'emploi de ce système, la crainte de voir se répéter des accidents dont on n'avait déjà que trop d'exemples, la conviction où l'on était que de simples moellons liés entre eux par le mortier seraient une garantie plus sûre que les plus gros

L'épaulement s'exécute en maçonnerie

blocs; tous ces motifs déterminèrent à engager M. l'Inspecteur général à autoriser par forme d'essai, que l'épaulement fût maçonné sur toute son épaisseur. Cette proposition fut accueillie; mais les fondations ne purent être établies qu'au niveau des hautes mers de morte eau, attendu les déblais considérables

Année 1825.

qu'il eût fallu faire pour descendre plus bas. L'épaulement, ainsi construit et jointoyé en ciment romain, fut encore enveloppé de blocs du Roule, dont la hauteur atteignait le cordon en briques qui forme le couronnement du parapet.

Année 1827.

L'enrochement est encore attaqué.

(54) Toutes les réparations ordonnées étaient terminées à la fin de 1825. Quatre hivers seulement ont suffi pour que les enrochements aient subi de notables changements, occasionnés surtout par la tempête des 26 et 27 janvier 1827, veille et jour de nouvelle lune (1). Un grand nombre de blocs ont été entraînés vers l'Est; plusieurs points se sont sensiblement dégarnis; et les grottes qui avaient résisté jusqu'alors, sont aujourd'hui menacées d'une ruine prochaine. Leur conservation n'intéresse en rien la batterie, puisqu'elles en sont fort éloignées : on n'en fait ici mention que pour prouver combien l'on doit peu compter sur la protection des blocs, qui se sont en définitive à peu près comportés comme le fit la petite pierre en 1803.

(55) Un fait qu'il est à propos de consigner; c'est que la mer, qui a pu enlever les blocs les plus écartés de l'épaulement, a été impuissante sur ceux qui, en étant plus rapprochés, se trouvaient superposés et se chargeaient ainsi les uns les autres. Ils forment sur quelques points une espèce de mur vertical, adossé contre la maçonnerie; et l'on ne saurait conséquemment douter que leur résistance ne soit de beaucoup supérieure à celle des plans inclinés. Quant à l'épaulement, il est resté parfaitement intact; et présentement que les mortiers ont acquis de la consistance, il peut certainement se conserver longtemps, malgré son parement en moellonnage, le peu de profondeur de sa fondation et la destruction successive de son enveloppe.

(1) Dès le 11 novembre 1825 une tempête de vent de nord-ouest avait attaqué les enrochements du centre et en avait détaché un assez grand nombre de blocs. Il fut fait le 15 un rapport sur cette première avarie.

(62) Tel est le précis historique des faits arrivés pendant le cours des travaux de la digue de Cherbourg et le résumé des opinions émises sur les divers moyens d'exécution employés jusqu'en 1830 pour la construction de cet important ouvrage.

APPENDICE N° 5.

Tableaux des proportions et dimensions principales des navires fins du commerce, des bâtiments de guerre de la marine française, et des grands bateaux à vapeur qui étaient en activité en 1838 en France et en Angleterre.

Les tableaux ci-dessous sont dus à M. Fauveau, Ingénieur des constructions navales au port de Brest, dont la vieille amitié pour l'éditeur du nouveau *Programme des Constructions*, n'a pas hésité à se livrer aux pénibles recherches dont les résultats sont consignés plus bas.

Les mots *tonneau* et *tonnage* qui se trouvent dans ces documents, et qui sont fréquemment relatés dans le texte de la cinquième partie, ont des acceptions très-diverses.

Le tonneau marin de *poids* correspond à 1000 kilogrammes en France, à 1015$^{kil.}$,65 en Angleterre. Mais le tonneau de *charge* ou d'*encombrement* usité dans le commerce, se prend d'ordinaire pour le volume qu'occupent quatre barriques d'un quart de *tonneau marin* occupant 42 pieds cubes (1^{mc},43), *toutes les fois qu'il s'agit de marchandises d'une pesanteur spécifique moindre que l'eau* (1). Pour les marchandises et matières dont la pesanteur spécifique est *plus grande que celle de l'eau*, le tonneau de charge est de 1000 kilogrammes.

Le fret ou le prix du transport par tonneau de *charge* et d'*encombrement* varie d'ailleurs pour le même bâtiment, à la même époque de l'année et pour

(1) Cette fixation a été jugée trop faible. Vial du Clairbois assignait pour volume réel 51 pieds cubes (1^{mc},748); et Bouguer 49 pieds cubes (1^{mc},68), pour un tonneau de charge de 1000 kilog.

un même trajet, suivant la nature des marchandises, les difficultés de leur conservation, de leur arrimage à bord, des dangers qu'elles peuvent faire courir au bâtiment et à l'équipage, etc., etc., etc.

Le *tonnage légal* d'un navire, c'est-à-dire celui qui sert à déterminer les droits de navigation, de pilotage, d'ancrage et autres, et la composition des équipages, était déterminé en France jusque dans ces derniers temps d'après la loi du 11 nivôse an II par la formule

$$(1)\quad T = \frac{Llc}{94}$$

ou L représentait en pieds français la longueur d'un navire sous le premier pont;

l la plus grande largeur au maître-bau;

c le creux le plus fort au maître-bau.

Il a été modifié par l'ordonnance du 18 novembre 1837, qui a substitué à la formule n° 1 celle en pieds

$$T = \frac{Llc}{110}\ (2),$$

et celle

$$(3)\quad T = \frac{Llc}{3,80}$$

en mètres, où L, l, c représentent en mètres les mêmes espèces de dimensions que dans les formules (1) et (2).

Pour les bateaux à vapeur, l'ordonnance du 18 août 1839 a prescrit la même formule, mais avec une défalcation de 40 pour 100 sur le résultat obtenu, et pour tenir compte de l'espace occupé par les appareils moteurs et leurs accessoires.

L'Angleterre, les États-Unis d'Amérique et les autres nations maritimes ont adopté d'autres formules pour l'expression du tonnage légal; toutes établies dans le but de favoriser la pluralité des bâtiments nationaux au détriment des bâtiments étrangers, *non-seulement dans les ports nationaux*, *mais encore à l'étranger.*

La fixation du tonnage légal comme *mesure maritime* devrait être évidemment l'objet de conventions entre toutes les puissances maritimes.

Les *Annales maritimes et coloniales* de 1819, 1820 et 1835, contiennent des mémoires fort intéressants sur le jaugeage des bâtiments, et entre autres ceux de M. Daviel, ingénieur des constructions navales, et Costé, capitaine de vaisseau.

PREMIER TABLEAU.

Proportions des bâtiments du commerce, du genre de ceux qu'on appelle bâtiments fins.

DIMENSIONS PRINCIPALES.	Port en tonneaux, d'après les règlements sur le jaugeage.															
	1000	900	800	700	600	500	450	400	350	300	250	200	150	100	70	50
	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
Longueur, de rablure en rablure, au pont principal	48,00	46,30	44,30	42,10	39,70	37,10	35,70	34,20	32,50	30,70	28,70	26,50	23,80	20,60	18,20	17,00
Longueur du dehors du couronnement au bout de la guibre	55,50	53,30	51,10	48,60	45,80	42,80	41,20	39,50	37,50	35,50	33,10	30,50	27,40	23,80	21,20	19,60
Largeur au maître-couple, au fort, en dehors des membres	12,60	12,15	11,[illegible]0	11,25	10,75	10,25	9,95	9,65	9,30	8,90	8,40	7,85	7,30	6,50	5,90	5,40
Largeur au maître-couple, au fort, en dehors des bordages	12,95	12,50	1[illegible],05	11,60	11,05	10,55	10,25	9,90	9,55	9,15	8,60	8,05	7,50	6,65	6,05	5,55
Creux, sur quille, au milieu, à la ligne droite des baux du pont	7,90	7,60	[illegible],30	6,95	6,55	6,15	5,90	5,65	5,40	5,10	4,80	4,45	4,00	3,50	3,20	2,90
Tirant d'eau moyen-lège, sous fausse quille	4,00	3,85	3,70	3,55	3,35	3,20	3,10	3,00	2,85	2,70	2,55	2,35	2,15	1,90	1,70	1,50
Id. en charge complète	6,35	6,10	5,85	5,60	5,35	5,05	4,90	4,70	4,50	4,25	4,00	3,75	3,40	3,00	2,70	2,40
Différence de tirant d'eau en cet état	0,55	0,52	0,49	0,46	0,43	0,40	0,38	0,36	0,34	0,33	0,31	0,30	0,28	0,26	0,25	0,25
Déplacement, en tonneaux métriques de 1000 kilogrammes l'un, correspondant au tirant d'eau en charge	tonn. 1840	tonn. 1640	tonn. 1450	tonn. 1360	tonn. 1070	tonn. 880	tonn. 780	tonn. 690	tonn. 600	tonn. 510	tonn. 420	tonn. 330	tonn. 250	tonn. 160	tonn. 110	tonn. 75

DEUXIÈME

Proportions des bâtiments de guerre

DÉNOMINATIONS DES DIMENSIONS INDIQUÉES	VAISSEAUX. 1er rang. 120 canons ancien, 118 trois-ponts.	2e rang. 100 canons nouveau modèle.	3e rang. 90 canons nouveau modèle.	3e rang. 82 canons, ancien 80.	4e rang. 80 canons, ancien 74.
	m.	m.	m.	m.	m.
Longueur de quille portant sur terre	63,4	56,6	55,8	53,4	50,3
Longueur de rablure en rablure au 1er pont	66,311	62,303	60,360	58,383	55,880
Longueur du dehors du couronnement au bout de la guibre	73,6	71,7	70,1	68,9	63,3
Largeur au maître-couple, au fort, en dehors des membres	16,404	16,200	15,730	15,267	14,482
— — au dehors des bordages	17,04	16,78	16,29	15,76	14,81
Creux sur quille, au milieu, à la ligne droite des baux du 1er pont	8,181	8,288	8,080	7,838	7,348
Hauteur totale, au milieu, du dessous de la fausse quille au-dessus du plat-bord supérieur	16,03	14,96	14,80	14,03	13,38
Tirant d'eau moyen lège (n° 1)	4,065	4,800	4,310	4,330	4,300
Différence de tirant d'eau lège	[illegible]	[illegible]	1,700	1,480	1,300
Tirant d'eau moyen, avec lest, bas-mâts et leur grément, four, cuisine, et tous les objets d'ameublement d'attache à bord, une partie de l'équipage sans ses effets (n° 2)	5,90	5,78	5,81	5,36	4,90
Différence de tirant d'eau en cet état comprise entre la différence lège et la différence en charge, mais très-susceptible de varier.					
Tirant d'eau moyen, le bâtiment armé, moins les poudres, les canons, leurs affûts et une partie des boulets, l'eau, les embarcations, une partie des ancres, chaînes, câbles et grelins, la drome, les principaux rechanges, *et le chargement des bâtiments de transport* (n° 3)	6,76	6,65	6,46	6,27	5,86
Différence de tirant d'eau en cet état comprise entre la différence lège et la différence en charge, se rapprochant davantage de cette dernière, mais très-variable.					
Tirant d'eau en charge (n° 4)	7,877	7,840	7,480	7,898	6,798
Différence du tirant d'eau en cet état	0,241	0,850	2,830	3,010	0,704
	tonneaux.	tonneaux.	tonneaux.	tonneaux.	tonneaux.
Déplacement en tonneaux métriques de 1000 kil. correspondant au tirant d'eau lège (n° 1)	3305	1188	3100	1881	1500
— — — — (n° 2)	3849	2958	3800	3300	1780
— — — — (n° 3)	4058	3438	3278	2908	2373
— — — — (n° 4) ou en charge	5092	4488	4070	3788	3016
Une grande partie de ces renseignements sont extraits de l'*Atlas du génie maritime* publié par les ingénieurs des constructions navales du port de Toulon.					

Nota. Les tirants d'eau lèges sont susceptibles de varier un peu d'un bâtiment à un autre de la même espèce. Les tirants d'eau marqués n° 2 et n° 3 peuvent varier sur le même bâtiment, selon que les objets d'armement varient eux-mêmes de poids, et qu'on enlève plus ou moins complètement ceux qui sont indiqués. Ces observations relatives aux tirants d'eau s'appliquent également aux déplacements qui leur correspondent.

TABLEAU.

de la marine militaire en France.

FRÉGATES.				CORVETTES			BRIGS.			GOÉLETTES.	CANONNIÈRES brigs.	CORVETTES de charge.	GABARRES de 300 tonneaux.
1er rang.		2e rang.	3e rang.	à gaillards.	sans gaillards.	avisos.							
66 canons, vaisseau rasé.	60 canons nouveau modèle.	60 canons nouveau modèle.	46 canons, ancienne flûte de 44.	30 bouches à feu.	24 bouches à feu.	18 bouches à feu.	20 bouches à feu.	18 bouches à feu.	Avisos de 16 bouches à feu, anciennes goélettes, brigs.	6 bouches à feu.	6 bouches à feu.	Anciennes flûtes de 400 tonneaux.	Anciennes gabarres écuries.
m. 50,0	m. 60,0	m. 47,6	m. 41,0	m. 60,8	m. 61,1	m. 66,6	m. 20,6	m. 24,6	m. 18,7	m. 66,6	m. 64,6	m. 40,7	m. 67,6
58,850	84,500	30,500	46,506	46,250	36,000	30,004	34,160	29,666	30,110	00,190	06,180	44,166	81,570
43,8	30,0	30,4	36,6	40,6	44,4	30,4	38,0	64,0	36,4	29,8	30,0	31,0	38,6
44,403	14,100	16,506	11,010	10,700	6,760	8,440	8,600	8,740	6,000	0,39	7,430	13,400	6,460
14,81	14,80	13,76	10,27	10,08	0,94	2,67	8,06	8,96	8,60	(c) 6,99	7,01	10,70	
7,148	7,600	7,650	0,178	3,050	0,108	4,807	4,600	4,350	0,300	6,300	6,100	6,706	4,600
11,08	21,40	11,20	10,63	8,78	7,20	0,80	6,78	0,30	3,08	4,07	(b) 6,20	8,16	6,74
4,17	4,110	4,00	6,620	6,068	6,666	2,700	6,66	6,248	6,240	1,068	(b) 1,800	6,696	0,296
2,90	1,160	1,000	1,385	0,890	1,806	1,200	1,160	0,840	1,808	6,760	0,000	1,420	6,068
(c) 4,67	(c) 4,98	(a) 5 68	4,10	0,70	6,60	8,78	0,26	4,00	6,76	2,26	(b) 6,10	0 07	0,06
3,31	3,60	5,38	4,60	4,16	6,66	6,00	6,60	0 36	6,61	0,40	(b) 2,78	4,60	3,48
0,37	8,356	6,600	3,048	4,730	4,350	6,900	4,040	0,666	3,630	0,650	(b) 8,006	4,900	0,660
« — »	8,706	0,400	6,030	0,430	3,920	1,006	2,000	6,708	1,500	0,606	6,366	0,860	3,880
tonneaux. 1601	tonneaux. 1208	tonneaux. 1668	tonneaux. 640	tonneaux. 800	tonneaux. 336	tonneaux. 200	tonneaux. 012	tonneaux. 147	tonneaux. 164	tonneaux. 68	tonneaux. 66	tonneaux. 320	tonneaux. 206
1662	1641	1673	630	000	516	202	350	636	198	110	112	606	294
9007	2078	1018	1098	611	616,8	076	440	207	261	103	190	1018	420
6600	6667	0350	1068	1007	787	466	642	339	270	136	045	1086	476

(a) La grandeur du nombre marqué a tient à ce que les bâtiments auxquels il se rapporte ont sur leurs préceintes un fort bourrelet, formant jet d'eau autour du navire.
(b) Les nombres marqués b comprennent tous une hauteur de 30 centim. 60 due à une fausse quille, qui pourrait à la rigueur être supprimée.
(c) Les nombres marqués c semblent présenter une forte anomalie, cependant on les a vérifiés, et l'on n'a pas trouvé d'erreur. Cette bizarrerie apparente tient à ce que les trois navires, avec des creux égaux ou à peu près, avec des tirants d'eau en charge aussi presque égaux, ont des formes très-différentes.

TROISIÈME TABLEAU.

Proportions des grands bateaux à vapeur des marines française et anglaise en 1838.

DÉNOMINATIONS des DIMENSIONS PRINCIPALES.	Bateaux à vapeur de la marine royale en France.		Grands bateaux à vapeur anglais trans-atlantiques. Gorgon.	Great Western.	Queen Victoria.	OBSERVATIONS.
Force en chevaux	160 chevaux.	220 chevaux.	320 chevaux.	400 chevaux.	400 à 500 chevaux.	*The Gorgon*, steam frégate, est le plus grand bateau à vapeur de la marine *royale* d'Angleterre. Il a été mis à l'eau en juillet 1837. Les deux autres sont des paquebots pour l'Amérique. Le premier des deux (*Great Western*) a déjà fait un grand nombre de voyages à New-York, ainsi qu'un autre bateau, le *Syrius*, à peu près de même force.
Diamètre des cylindres à vapeur	.....	.....	64 inches anglais (1m,60)	73 inches ½ (1m,83)	70 inches ½ (1m,912)	
Course des pistons	.....	.....	.....	7 feet anglais (2m,13)	7 feet (2m,13)	
Diamètre des roues	.....	.....	26 feet (7m,92)	.....	30 feet (9m,14)	
Longueur de quille, portant sur terre	m. 46,6	m. 50,1	m. 46,43	m. 60,40	m. 67,07	
Longueur de perpendiculaire en perpendiculaire	.....	.....	54,25 ou 54,40	60,06	71,63	
Longueur de rablure en rablure au pont supérieur	47,42	50,30				
Longueur au pont supérieur	.....	.....	.....	.....	75,67	
Longueur de dehors du couronnement au dehors de la guibre	52,1	64,2	64,00	71,32	83,00	
Largeur au maître couple en dehors des membres	9,00	8,00				
Largeur la plus grande en dehors des membres	10,24	10,00				
Largeur au maître couple en dehors des bordages	.....	.....	11,44	10,77	12,12	
Largeur la plus grande en dehors des bordages	.....	.....	11,60			
Largeur en dehors des tambours des roues	14,00	16,00	.....	17,69	18,91	
Creux sur quille au maître couple à la ligne droite des baux du pont	6,40	5,11	6,00 ou 6,01	7,03	6,93	
Hauteur totale au maître couple du dessous de la fausse quille, au dessus du plat-bord supérieur	6,9	7,7				
Tirant d'eau moyen lège	.....	.....	4,08	4,40		
Tirant d'eau moyen armé, sans eau dans les chaudières, ni chargement ni charbon						
Tirant d'eau moyen, en charge complète avec l'eau dans les chaudières, le charbon, etc.	3,00	3,97	.....	4,87 à 4,90	4,88	

QUATRIÈME TABLEAU.

Extrait de l'appendice de la nouvelle édition de Tredgold.

PRINCIPALES DIMENSIONS des bateaux à vapeur anglais le *Nile* et *Medèa*.	NILE.	MEDÈA.	OBSERVATIONS.
Longueur sur le pont	pieds anglais. 180 ou (54m,86)	pieds anglais. 179.4½ (54m.67)	Il semblerait résulter de divers renseignements isolés dans Tredgold et de ceux que fournissent les journaux, que pour les bâtiments d'un plus fort tonnage, la longueur augmente sans que la largeur varie beaucoup; ainsi *le Grand-Occidental* qui a 234 pieds angl. (71m,32) de longueur, n'a que 58 p. a. (17m,69) de largeur, y compris les roues; cette largeur a été au plus de 64 p. a. (20m,20) dans un bâtiment que Tredgold ne nomme pas.
Longueur à la flottaison en charge .	157 4 (47m.95)	157.4 ⅞ (47m.97)	
Largeur maximum hors membre . . .	33 (10m,06)	31.11 (9m,73)	
Creux dans la chambre des machines.	20.6 (6m,16)	20 (6m.10)	
Tonnage en charge (tonnage anglais).	tonneaux 911 [illegible] . . .	813 [illegible]	
Largeur y compris les tambours . . .	pieds. 58 (17m,69)	61 (18m,60)	

FIN DU TOME DEUXIÈME.







